

冲绳海槽北部柱状沉积物中有机质地球化学特征 ——对热液活动的指示

黄 鑫, 陈法锦, 祁雅莉, 侯庆华, 陈清香, 蒲晓强

(广东海洋大学 广东省近海海洋变化与灾害预警重点实验室, 广东 湛江 524088)

摘要: 通过气相色谱-质谱联用仪(GC-MS), 分析了冲绳海槽北部柱状沉积物中有机质的分布和组成特征。样品中正烷烃显示出明显的双峰分布, 其中高分子正烷烃显示出明显的奇数碳优势; 低分子的正烷烃显示出偶数碳优势, 其丰度最大值位于 C_{16} 和 C_{18} 处。该柱状沉积物中 120~140 cm 层样品(样品 S10-7)中沥青、正烷烃以及脂肪酸的含量都要远高于其他层位样品, 且该层位样品中正十八烷酸质量比(16.915 $\mu\text{g/g}$)要高于其他层位样品 1~2 个数量级。S10-7 样品中 3 个成熟度参数也高于其他样品, 预示该层位样品受到明显的热蚀变。S10-7 样品中有机质的分布和组成情况预示该柱状沉积物样品周围可能存在未被发现的热液区。本研究旨在揭示该柱状沉积物中有机质的来源, 同时评估该区热液活动的可能性。本研究的开展可为该区沉积物中有机质来源及热液活动研究提供研究基础和依据。

关键词: 冲绳海槽; 柱状沉积物; 热液活动; 有机质

中图分类号: P736.4

文献标识码: A

文章编号: 1000-3096(2018)06-0001-11

DOI: 10.11759/hyxx20171023001

地质环境中有机质的研究一直为相关研究者所密切关注^[1-2]。热液活动的发现, 为地质环境中有机质的研究提供了一个新的切入点^[1-3]。自从 1978 年在 California 海湾 Guaymas 海盆发现“热液石油”以来, 相关研究者开始了热液产物中有机质的研究, 如冲绳海槽^[4], Gorda 洋脊南部 Escanaba 海槽^[5], Juan de Fuca 洋脊 Middle Valley 热液区^[6], 红海^[7-8], Andaman 海盆^[9-10], 中印度洋洋中脊 Kairei 热液区^[3, 11-12], 北大西洋洋中脊 Rainbow 热液区^[1-2, 13-14], Lost City 热液区^[13-16], Broken Spur 热液区^[14], Ashadze 热液区^[17], Logatchev 热液区^[3, 11-12], 北冰洋^[18]等处。许多研究者也利用热液模拟实验来探索热液环境下有机质的来源及其演化^[19-20]。

通常, 热液区周边的沉积物中有机质会被热液活动所影响。以有机质的成熟度为例, Zárate-del Valle 等^[21]通过模拟实验发现藿烷空间异构体中 22S/(22S+22R) 能够用来评估有机质的成熟度, 其值会随着周围温度的增加而逐渐增大。

冲绳海槽是夹在东海陆架和琉球海沟、琉球岛弧之间的一条狭窄的弧形区域, 其南北边界分别是中国的台湾岛和日本的九州群岛^[22-23]。冲绳海槽是菲律宾板块向亚欧板块俯冲过程中形成的弧后扩张盆地, 同琉球海沟和琉球岛弧一同构成了一套完整

的沟弧盆体系, 是一个发育在陆壳之上, 处于早期扩张阶段的弧后扩张盆地^[24-25]。自从 1984 年在冲绳海槽中部探测到海底热液活动以来, 陆续有多处海底热液区被发现。2014 年, 在冲绳海槽南部, Zeng 发现了一个新的热液区, 命名为唐印热液区^[26], 并对该区开展了底栖生物与热液活动之间关系的研究^[27]。冲绳海槽热液活动主要分布在海槽的中部和南部, 在冲绳海槽北部仅有少数疑似的热液喷口被报道^[28]。

在本研究中, 我们测试了冲绳海槽北部柱状沉积物中有机质的分布和组成特征, 并对比了不同层位样

收稿日期: 2017-10-23; 修回日期: 2017-11-25

基金项目: 中国科学院海洋地质与环境重点实验室开放基金(MGE2015 KG04); 广东高校优秀青年创新人才培养计划项目资助(2014KQNCX084); 国家海洋局海洋科学重点实验室开放基金(KSLG1503); 广东海洋大学博士启动基金(E15169); 广东海洋大学创新强校工程项目(GDOU2016050241)

[Foundation: the Open Fund of the Key Laboratory of Marine Geology and Environment, Chinese Academy of Sciences, No.MGE2015KG04; the Foundation for Distinguished Young Talents in Higher Education of Guangdong, China, No. 2014KQNCX084; the Open Fund of the Key Laboratory of Submarine Geosciences, State Oceanic Administration People's Republic of China, No.KSLG1503; the program for scientific research start-up funds of Guangdong Ocean University, No.E15169; the Project of Enhancing School with Innovative of Guangdong Ocean University, No.GDOU2016050241]

作者简介: 黄鑫(1987-), 男, 湖南湘潭人, 博士, 讲师, 主要从事海洋有机地球化学研究, E-mail: shaoshanhx@126.com; 陈法锦(1981-), 男, 广东湛江人, 博士, 副教授, 主要从事海洋生物地球化学研究, E-mail: fjchen@gdou.ac.cn

品中有机质分布和组成的异同,旨在揭示该柱状沉积物中有机质的来源,同时评估该区热液活动的可能性。

1 取样和分析

2013 年,中国科学院海洋研究所组织了对冲绳海槽的 HOBAB1 考察航次,本文中所分析的柱状沉积物 S10 即在本航次中通过“科学 1 号”科考船上的重力取样器在冲绳海槽北部(29°29'N, 128°11'E, 水深 986 m)取得(图 1)。柱状沉积物 S10 长 340 cm,

取样后即冷冻保存。放置恢复常温后,垂直将柱状沉积物切开,分段进行登记和描述。柱状沉积物 0~50 cm 段呈灰绿色,含水量较大,流动性较强,有孔虫含量较高;50~140 cm 段呈灰黑色,含水量较小,部分层位有少量介质,黏度较大;140~260 cm 呈暗绿色,含水量较大,较软,黏度较大;260~330 cm 段颜色变深,呈黑绿色,含水量较小,黏度较大;330~340 cm 为梅花头段,呈暗黑色,黏度较大。在整理样品中,我们在 120~140 cm 段闻到了明显的臭鸡蛋气味。

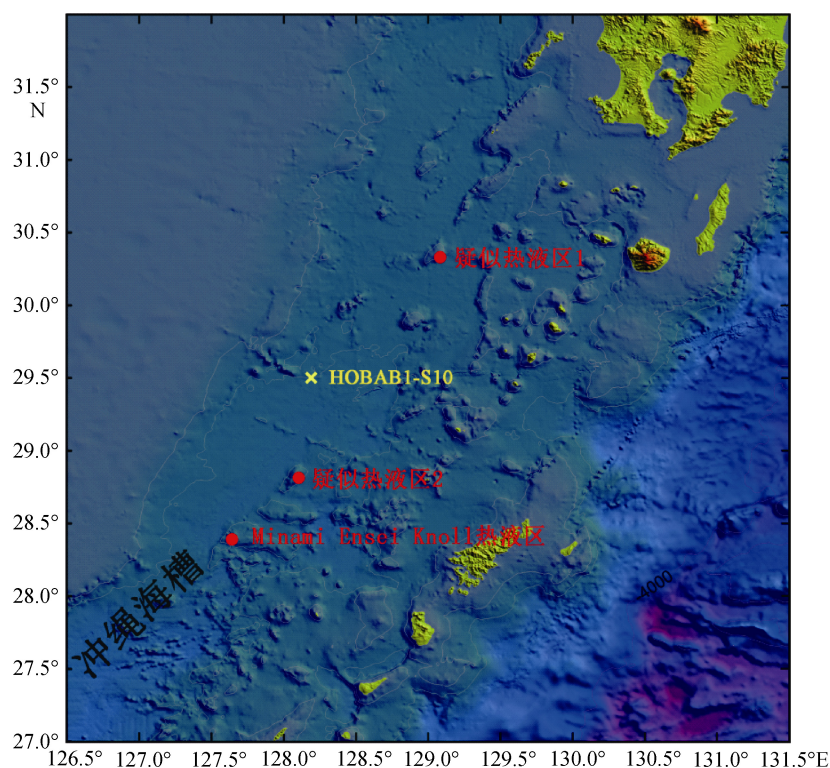


图 1 冲绳海槽北部柱状样品取样点

Fig. 1 Sample collection site in the northern Okinawa Trough

将样品按 20 cm 间隔取样得到 17 个样品,从上到下进行编号。每个样品取大约 200 g,在 40℃下干燥 48 h,然后将样品研磨成 100 目左右后再次干燥 24 h。样品中有机质的提取和分析是在中国科学院地质与地球物理研究所兰州油气资源研究中心完成。有机质提取过程如下:利用索氏提取器,使用三氯甲烷作为溶剂抽提 72 h;抽提过程加入适量经过活化的铜片,用以脱去样品中可能存在的元素硫;加入正己烷,除去沥青质等不可溶有机质;可溶的有机质通过柱色谱(硅胶柱 60,半径 15 mm,柱长 35 mm)进行分离;脂肪族组分直接通过气相色谱质谱联用仪(GC-MS)进行分析,极性化合物

组分先通过 $\text{BF}_3\text{-MeOH}$ 甲基化后,再通过 GC-MS 进行分析。

GC-MS 分析使用美国安捷伦科技公司出品的 GC-MS 分析仪,其气相色谱为 HP 6890N,气相色谱分析条件为气化室温度:280℃;载气高纯氮(99.999%);载气流量 1.2 mL/min.;载气线速度:40 cm/s.;弹性石英毛细柱:30 m×0.2 mm×0.2 μm 美国 J & W HP-5 柱;程序升温:80℃恒温 2 min 后以 4℃/min 升至 290℃恒温 20 min。质谱为 5973N 质谱仪,分析条件为离子源:EI 源;离子源温度:230℃;离子源电离能:70 eV;四极杆温度:150℃;接口温度:280℃;谱库:美国 NIST05L。

2 结果

17个样品通过GC-MS分析,得到的有机质分布和组成结果见表1。

2.1 沥青

柱状沉积物各层样品中沥青质量比(CB)范围在

77.61~155.12 $\mu\text{g/g}$, 最大值出现在样品 S10-7 样品中(表 1, 图 2)。该柱状沉积物样品中沥青含量高于 Gorda 洋脊南部 Escanaba 海槽^[29]和 Juan de Fuca 洋脊 Middle Valley 热液区^[30]柱状沉积物样品, 同时也要高于中印度洋洋中脊 Kairei 热液区和北大西洋洋中脊 Logatchev 热液区中表层热液沉积物中沥青含量^[3]。

表 1 柱状沉积物中有机质组成

Tab. 1 Compositions of organic matter in the sediment core

样品编号	层位/cm	样品质量/g	质量/mg			质量比/($\mu\text{g/g}$)		
			沥青	烷烃	脂肪酸	沥青	烷烃	脂肪酸
S10-1	0~20	84.00	9.89	3.92	4.06	117.74	46.67	48.33
S10-2	21~40	96.50	10.03	4.21	3.67	103.94	43.63	38.03
S10-3	41~60	97.50	10.69	4.44	4.08	109.64	45.54	41.85
S10-4	61~80	98.00	9.90	4.59	3.03	101.02	46.84	30.92
S10-5	81~100	96.00	10.88	4.79	3.77	113.33	49.90	39.27
S10-6	101~120	99.00	12.63	5.16	4.94	127.58	52.12	49.90
S10-7	121~140	104.50	16.21	7.12	5.97	155.12	68.13	57.13
S10-8	141~160	99.00	9.20	4.71	2.43	92.93	47.58	24.55
S10-9	161~180	101.50	9.64	4.29	2.97	94.98	42.27	29.26
S10-10	181~200	101.00	9.35	5.02	2.71	92.57	49.70	26.83
S10-11	201~220	98.00	9.01	4.18	3.09	91.94	42.65	31.53
S10-12	221~240	102.00	8.48	4.12	2.40	83.14	40.39	23.53
S10-13	241~260	103.30	8.70	3.92	3.08	84.22	37.95	29.82
S10-14	261~280	104.50	9.79	3.93	3.87	93.68	37.61	37.03
S10-15	281~300	104.50	8.11	3.49	2.98	77.61	33.40	28.52
S10-16	301~320	106.80	9.70	4.51	3.14	90.82	42.23	29.40
S10-17	321~340	115.00	9.54	4.06	3.30	82.96	35.30	28.70

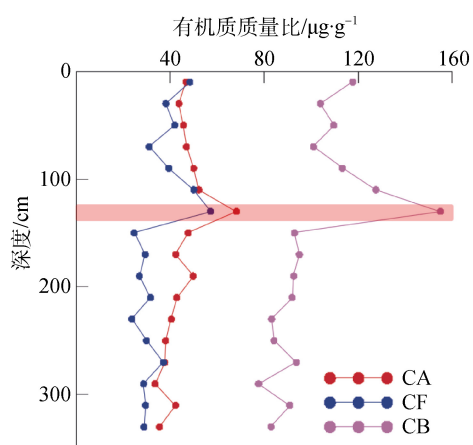


图 2 柱状沉积物中有机物质量比

Fig. 2 Concentrations of the organic matter in the sediment core

2.2 正烷烃

柱状沉积物样品中烷烃质量比(CA)在 $7.77 \times$

$10^{-3} \sim 5.24 \mu\text{g/g}$ (表 2), 其中含量最高的为 S10-7 和 S10-8 样品。样品中正烷烃链长范围在 $\text{C}_{13} \sim \text{C}_{35}$, 呈双峰分布模式(图 3), 其中碳优势指数(CPI)分布范围为 0.554~2.091(表 3)。样品中短链正烷烃显示出明显的偶数碳优势, 除样品 S10-4 外(最大值在 C_{17} 处)最大值出现在 C_{16} 或 C_{18} 处, 其奇偶优势比(OEP)17 范围为 0.263~4.991(仅样品 S10-4 大于 1)。相反, 样品中长链正烷烃显示出明显的奇数碳优势, 最大值出现在 C_{29} 或 C_{31} 处, 其 OEP29 的范围在 2.992~6.246(表 3)。

2.3 支链和环状烷烃

柱状沉积物样品中支链烷烃主要为 $\text{C}_{15} \sim \text{C}_{23}$ 的 2—6 号位单取代奇数碳烷烃为主, 其含量与相同碳元素个数的正烷烃相似(表 2)。样品中植烷和姥鲛烷的质量比为 0.037 至 $0.74 \mu\text{g/g}$, 植烷和姥鲛烷质量比之比

表 2 柱状样品中烃类组成

Tab. 2 Composition of hydrocarbons in the sediment core

烃	质量比/($\mu\text{g/g}$)																
	S10-1	S10-2	S10-3	S10-4	S10-5	S10-6	S10-7	S10-8	S10-9	S10-10	S10-11	S10-12	S10-13	S10-14	S10-15	S10-16	S10-17
正十三烷	0.331	0.177	0.235	0.200	0.162	0.150	0.168	0.011	0.022	0.018	0.057	0.038	0.016	0.043	0.009	0.024	0.008
正十四烷	0.733	0.548	0.587	0.486	0.649	0.633	0.808	0.746	0.445	0.419	0.580	0.399	0.442	0.434	0.297	0.397	0.236
正十五烷	0.493	0.564	0.872	0.671	0.606	0.767	0.929	1.489	0.637	0.506	0.779	0.708	0.706	0.517	0.485	0.537	0.548
6-甲基-十五烷	0.100	0.025	0.061	0.030	0.053	0.087	0.134	0.343	0.177	0.231	0.098	0.108	0.183	0.261	0.043	0.189	0.137
5-甲基-十五烷	0.072	0.047	0.080	0.022	0.066	0.102	0.096	0.128	0.145	0.042	0.100	0.080	0.109	0.073	0.058	0.063	0.086
4-甲基-十五烷	0.803	1.290	1.522	0.082	0.810	1.085	0.669	0.217	0.839	0.152	0.579	0.132	0.474	0.359	0.145	0.171	0.635
2-甲基-十五烷	0.279	0.195	0.146	0.406	0.216	0.297	0.384	0.454	0.278	0.357	0.255	0.305	0.310	0.242	0.270	0.330	0.252
3-甲基-十五烷	0.603	0.571	0.595	0.167	0.417	0.624	0.794	0.858	0.946	0.581	0.846	0.847	0.829	0.481	0.946	1.039	0.729
正十六烯	0.358	0.273	0.300	0.523	0.213	0.274	0.334	0.497	0.373	0.461	0.476	0.353	0.268	0.348	0.322	0.428	0.290
正十六烷	2.484	1.801	2.574	0.235	2.428	3.230	4.247	5.239	1.997	4.404	3.887	0.553	3.901	2.972	2.614	3.424	2.727
降姥鲨烷	0.082	0.090	0.127	2.047	0.103	0.104	0.084	0.618	0.103	0.166	0.090	0.427	0.090	0.135	0.117	0.173	0.574
正十七烯	2.378	1.790	2.110	0.643	2.581	2.074	2.342	1.350	0.609	0.732	1.100	0.915	0.568	0.914	0.568	0.959	0.742
正十七烷	0.831	0.711	1.092	1.617	0.926	1.031	1.464	1.273	0.667	1.286	0.673	0.904	0.662	0.726	0.660	0.918	0.766
姥鲨烷	0.394	0.208	0.356	0.658	0.240	0.794	0.771	0.953	0.402	0.625	0.348	0.538	0.436	0.323	0.285	0.328	0.741
6-甲基-十七烷	1.029	0.488	0.640	0.304	0.565	0.789	0.948	1.459	1.123	1.054	0.615	0.748	0.433	0.642	0.692	0.730	0.762
5-甲基-十七烷	2.462	2.439	1.768	0.663	2.345	2.276	2.917	1.804	1.440	2.002	1.147	1.017	1.186	1.432	1.257	1.020	1.258
4-甲基-十七烷	1.533	2.542	1.752	2.091	1.831	1.518	2.663	2.298	1.445	1.963	1.011	0.866	1.047	1.102	1.208	1.228	0.784
2-甲基-十七烷	0.058	0.458	0.034	0.355	0.039	0.829	0.837	0.383	0.172	1.093	1.011	0.158	0.521	0.488	0.536	1.073	0.079
3-甲基-十七烷	0.727	0.485	0.572	0.593	0.517	0.654	0.801	2.090	1.689	1.258	1.152	1.129	0.648	0.871	0.829	1.171	0.665
正十八烯	0.238	0.337	0.173	0.550	0.263	0.257	0.318	0.680	0.507	0.462	0.545	0.444	0.441	0.468	0.275	0.474	0.394
正十八烷	1.685	1.495	1.711	0.207	1.890	2.975	2.943	2.283	2.470	1.871	3.064	2.111	2.365	2.147	2.068	1.456	1.714
植烷	0.393	0.281	0.466	1.985	0.449	0.593	0.916	0.941	0.483	0.759	0.394	0.651	0.446	0.347	0.297	0.482	0.767
正十九烯	1.449	1.361	1.324	2.465	1.560	1.739	2.191	0.660	0.685	0.758	0.789	0.685	0.391	0.713	0.336	0.744	0.425
正十九烷	0.294	0.281	0.243	1.444	0.420	0.185	0.677	0.238	0.170	0.245	0.355	0.293	0.277	0.258	0.150	0.318	0.282
6-甲基-十九烷	0.239	0.193	0.212	0.295	0.302	0.278	0.268	0.161	0.360	0.365	0.177	0.134	0.228	0.165	0.481	0.199	0.228
5-甲基-十九烷	0.475	0.496	0.432	0.237	0.477	0.501	0.818	0.575	0.764	0.563	0.630	0.482	0.426	0.483	0.553	0.686	0.498
4-甲基-十九烷	1.912	1.869	1.735	0.523	2.566	2.572	3.106	1.397	1.282	1.337	0.815	1.020	1.203	1.326	0.945	1.214	1.068
2-甲基-十九烷	0.861	0.521	1.151	2.962	1.570	1.706	2.062	0.596	0.552	1.284	0.303	0.458	0.460	0.434	0.519	0.719	0.416
3-甲基-十九烷	0.256	0.285	0.290	0.875	0.421	0.422	0.441	0.740	0.956	0.926	0.392	0.404	0.778	0.853	0.711	0.913	0.767
正二十烷	0.240	0.708	0.554	0.742	0.364	0.808	1.543	0.759	1.187	1.278	0.359	0.616	0.652	0.505	0.753	0.659	0.514

续表

烃	质量比/(μg/g)																
	S10-1	S10-2	S10-3	S10-4	S10-5	S10-6	S10-7	S10-8	S10-9	S10-10	S10-11	S10-12	S10-13	S10-14	S10-15	S10-16	S10-17
正二十一烷	0.412	0.313	0.312	1.269	0.420	0.349	0.667	0.604	0.433	0.515	0.523	0.542	0.468	0.533	0.570	0.598	0.386
6-甲基-二十一烷	0.091	0.123	0.094	0.344	0.078	0.069	0.076	0.076	0.061	0.090	0.104	0.044	0.064	0.094	0.043	0.089	0.050
5-甲基-二十一烷	0.306	0.360	0.326	0.090	0.393	0.352	0.339	0.294	0.382	0.260	0.265	0.328	0.286	0.247	0.244	0.241	0.272
4-甲基-二十一烷	0.104	0.068	0.031	0.294	0.104	0.105	0.123	0.077	0.090	0.074	0.067	0.054	0.067	0.034	0.060	0.083	0.071
2-甲基-二十一烷	1.234	1.150	1.233	0.090	1.119	1.243	1.466	0.642	0.405	0.825	0.696	0.586	0.587	0.567	0.519	0.484	0.539
3-甲基-二十一烷	0.248	0.346	0.415	2.209	0.686	0.375	0.660	0.533	0.301	0.657	0.410	0.092	0.427	0.370	0.304	0.382	0.325
正二十二烷	0.156	0.148	0.096	0.837	0.079	0.169	0.273	0.299	0.270	0.184	0.242	0.221	0.216	0.199	0.191	0.168	0.199
正二十三烷	0.532	0.402	0.310	0.301	0.346	0.254	0.649	0.304	0.443	0.294	0.170	0.282	0.372	0.340	0.323	0.389	0.317
6-甲基-二十三烷	0.168	0.111	0.087	0.425	0.058	0.086	0.205	0.093	0.132	0.170	0.097	0.132	0.084	0.128	0.138	0.192	0.098
5-甲基-二十三烷	0.042	0.023	0.027	0.112	0.030	0.024	0.046	0.026	0.035	0.037	0.013	0.027	0.019	0.032	0.031	0.039	0.032
4-甲基-二十三烷	0.518	0.434	0.352	0.026	0.426	0.232	0.602	0.213	0.159	0.276	0.244	0.219	0.156	0.272	0.217	0.288	0.226
2-甲基-二十三烷	0.110	0.053	0.050	0.446	0.072	0.046	0.115	0.131	0.059	0.111	0.125	0.098	0.054	0.097	0.077	0.087	0.062
3-甲基-二十三烷	0.279	0.065	0.096	0.475	0.164	0.100	0.294	0.038	0.061	0.055	0.075	0.075	0.062	0.053	0.115	0.131	0.098
正二十四烷	0.090	0.096	0.083	0.193	0.067	0.146	0.112	0.143	0.222	0.181	0.181	0.151	0.182	0.170	0.096	0.177	0.162
正二十五烷	0.229	0.214	0.225	0.240	0.214	0.271	0.489	0.267	0.502	0.469	0.368	0.293	0.352	0.329	0.299	0.372	0.317
正二十六烷	0.145	0.106	0.114	0.126	0.109	0.176	0.290	0.146	0.301	0.248	0.267	0.170	0.197	0.158	0.147	0.189	0.185
正二十七烷	0.371	0.219	0.298	0.422	0.408	0.471	0.935	0.329	1.010	0.771	0.771	0.427	0.641	0.624	0.549	0.712	0.506
正二十八烷	0.313	0.201	0.128	0.232	0.211	0.280	0.606	0.151	0.347	0.278	0.399	0.215	0.263	0.270	0.214	0.259	0.219
正二十九烷	0.617	0.698	0.786	1.003	0.879	0.863	1.745	0.477	1.723	1.337	1.345	0.951	1.586	1.346	1.107	1.363	1.170
正三十烷	0.235	0.202	0.189	0.222	0.195	0.232	0.650	0.102	0.206	0.285	0.342	0.199	0.233	0.250	0.200	0.231	0.315
正三十一烷	0.751	0.837	0.983	1.081	0.957	1.104	1.843	0.340	1.869	1.779	1.485	1.063	1.936	1.435	1.503	1.636	1.218
正三十二烷	0.136	0.084	0.079	0.106	0.094	0.139	0.191	0.041	0.154	0.146	0.196	0.098	0.164	0.149	0.116	0.095	0.137
正三十三烷	0.291	0.357	0.438	0.464	0.504	0.443	0.762	0.106	0.749	0.686	0.641	0.495	0.859	0.719	0.604	0.666	0.560
正三十四烷	0.303	0.307	0.320	0.296	0.275	0.179	0.643	0.065	0.628	0.469	0.436	0.330	0.446	0.389	0.336	0.394	0.332
正三十五烷	0.135	0.104	0.148	0.125	0.104	0.122	0.326	0.030	0.247	0.262	0.201	0.143	0.235	0.187	0.150	0.177	0.191

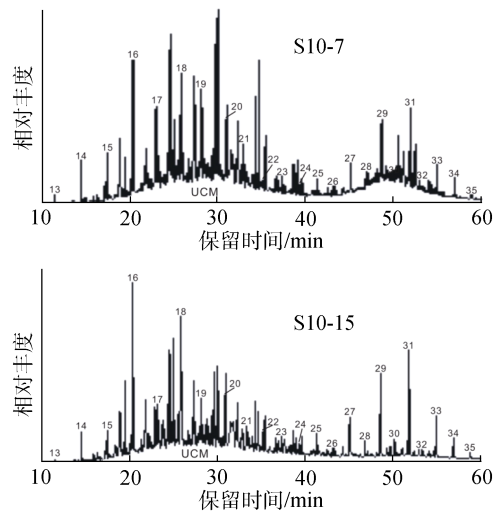


图 3 代表性样品中气相色谱图

Fig. 3 Gas chromatograms of alkanes of representative samples

注：其中数字代表正烷烃碳链长度；UCM：复杂混合物。

Note: Numbers refer to the C chain length of n-alkanes; UCM, unresolved complex mixture.

表 3 柱状沉积物中烃类特征参数

Tab. 3 Characteristic parameters of hydrocarbons in the sediment core

样品编号	CPI	OEP17	OEP29	$m(\text{Pr})/m(\text{Ph})$
S10-1	1.013	0.636	2.992	0.923
S10-2	1.021	0.715	4.229	0.634
S10-3	1.052	0.774	3.703	0.946
S10-4	2.091	4.991	4.589	0.802
S10-5	1.174	0.767	3.810	0.788
S10-6	0.771	0.616	3.861	0.791
S10-7	0.917	0.660	3.590	0.883
S10-8	0.554	0.315	3.745	1.095
S10-9	1.006	0.268	4.993	1.011
S10-10	0.766	0.304	4.959	1.025
S10-11	0.770	0.324	3.304	0.734
S10-12	1.197	0.370	3.678	0.804
S10-13	0.871	0.313	6.246	0.907
S10-14	0.933	0.367	4.823	0.891
S10-15	0.888	0.263	4.852	1.101
S10-16	1.027	0.289	4.455	1.107
S10-17	0.912	0.448	4.340	0.823

注：CPI =碳优势指数(C_{13} 至 C_{35} 之间奇数碳烷烃和偶数碳烷烃含量比值)

$\text{OEP17}=[m(\text{C}_{15})+6m(\text{C}_{17})+m(\text{C}_{19})]/[4m(\text{C}_{16})+4m(\text{C}_{18})]$

$\text{OEP29}=[m(\text{C}_{27})+6m(\text{C}_{29})+m(\text{C}_{31})]/[4m(\text{C}_{28})+4m(\text{C}_{30})]$

$[m(\text{Ph})/m(\text{Pr})]$ 范围为 0.634~1.107(表 3)。所有样品中均检测到了降姥鲛烷的存在，但是其含量要远低于

同样品中姥鲛烷和植烷的含量。

样品中环状生物标志物主要为三环的萜烷、藿烷和甾烷，大部分样品具有相似的环境生物标志物组成。样品中含量最高的萜烷为藿烷($17\alpha(\text{H})$, $21\beta(\text{H})$ -藿烷系列)和莫烷($17\beta(\text{H})$, $21\alpha(\text{H})$ -藿烷系列)。样品中检测到的 $17\alpha(\text{H})$, $21\beta(\text{H})$ -藿烷系列碳数范围为 C_{27} — C_{35} (C_{28} 藿烷未检测到)，其中最大值出现在 C_{29} 和 C_{30} 处。

藿烷 $m(22\text{S})/m(22\text{S}+22\text{R})$ 常被用来指示有机质的成熟度，其中 C_{31} 藿烷是最常使用的一个。通常情况下，不成熟或低成熟度有机质的藿烷 $m(22\text{S})/m(22\text{S}+22\text{R})$ 小于 0.2，而较成熟有机质这一值一般大于 0.4，高成熟有机质，这一值常为 0.6 左右^[31-33]。Zárate-del Valle 等通过模拟实验发现，藿烷 $m(22\text{S})/m(22\text{S}+22\text{R})$ 会随着温度的增加而增加，在热液环境中，这一值在 0.51~0.7 波动^[21]。本研究中，样品中 C_{31} 藿烷 $m(22\text{S})/m(22\text{S}+22\text{R})$ 值(M-H- C_{31})范围为 0.177~0.481 (表 4)， $m(\text{Ts})/m(\text{Ts}+\text{Tm})$ (Ts 为 $18\alpha(\text{H})$ -22,29,30-三降藿烷；Tm 为 $17\alpha(\text{H})$ -22,29,30-三降藿烷)值(M-H- C_{27})范围在 0.274~0.564(表 4)，表明该柱状沉积物样品中有机质处于低成熟度状态。

表 4 柱状沉积物中萜烷和甾烷生物标志物成熟度参数

Tab. 4 Maturity parameters of triterpanes and steranes biomarkers in the samples

样品编号	M-H- C_{31}	M-H- C_{27}	M-S- C_{29}
S10-1	0.295	0.469	0.515
S10-2	0.205	0.324	0.372
S10-3	0.187	0.274	0.350
S10-4	0.182	0.295	0.379
S10-5	0.245	0.458	0.401
S10-6	0.219	0.377	0.375
S10-7	0.472	0.508	0.623
S10-8	0.329	0.358	0.373
S10-9	0.197	0.296	0.384
S10-10	0.200	0.296	0.321
S10-11	0.199	0.304	0.385
S10-12	0.178	0.302	0.378
S10-13	0.193	0.283	0.411
S10-14	0.196	0.302	0.372
S10-15	0.177	0.319	0.354
S10-16	0.247	0.311	0.346
S10-17	0.481	0.564	0.495

柱状沉积物各层样品中均检测到 C_{27} , C_{28} 和 C_{29} 甾烷。 C_{29} 甾烷主要来源于陆源的高等植物，表明样

品受到明显的陆源输入的影响。柱状沉积物中也检测到了重排甾烷(C_{27} — C_{29})和孕甾烷,但是其含量比较低。

C_{29} 甾烷空间异构体组成 $m(20S)/m(20S+20R)$ 的值(M-S- C_{29})也常用来评估有机质的成熟度,当样品中有机质受热成熟后,该值达到平衡,保持在 0.54 左右^[33-35]。在本研究中,这一值范围为 0.321~0.623,其分布与 M-H- C_{31} 以及 M-H- C_{27} 相似;样品 S10-7 中这三个值均明显高于其他样品(表 4, 图 4),表明该样品受到了热蚀变的影响。

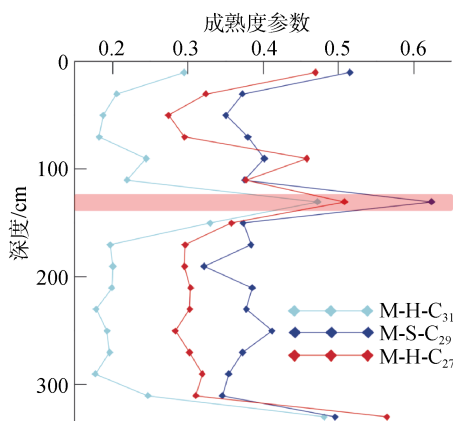


图 4 柱状沉积物样品中萜烷和甾烷生物标志物成熟度参数

Fig. 4 Maturity parameters of triterpanes and steranes biomarkers in the samples

2.4 脂肪酸

柱状沉积物 S10 中总脂肪酸质量比(CF)范围在 24.55~57.13 $\mu\text{g/g}$; 其中样品 S10-7 中含量最高(表 1, 图 2)。该值高于中太平洋 175°E 表层沉积物(48°N~15°S)中总脂肪酸含量^[36],也要高于南大西洋洋中脊表层沉积物中总脂肪酸含量值^[37]。

柱状沉积物样品中大约 22 种脂肪酸被检测出来(表 5),其中饱和脂肪酸的种类最多。直链饱和脂肪酸是其中主要的组成部分,其链长范围在 C_{12} 至 C_{28} 之间(C_{27} 缺失)。大部分样品中正十六烷酸和正二十六烷酸含量比较高,其值在 1 $\mu\text{g/g}$ 附近波动。样品 S10-7 中正十八烷酸质量比达到 16.915 $\mu\text{g/g}$,这一值要比其他层位样品高出几倍甚至几十倍。

所有样品中均检测到了顺式和反式的 9-正十八烯酸和 12-正二十二烯,其含量远高于同一层位样品相同碳原子饱和脂肪酸含量。同时,该柱状沉积物各层样品中也检测到了 8,10-二甲氧基-十八烷酸、

10,12-二甲氧基-二十烷酸、12,14-二甲氧基-二十二烷酸和 14,16-二甲氧基-二十四烷酸。样品中没有检测到支链和环状的脂肪酸。

3 讨论

3.1 有机质的来源

一般说来,地质环境中的有机质大致有 3 个来源^[19]: (1)生物来源(作为生物体代谢与生物活动过程中的生命所需的化合物); (2)热降解来源(形成于生物热降解中的产热化合物或者经历成岩作用过程的生物衍生化合物); (3)非生物合成来源(没有生物体参与的纯化学过程形成的非生物起源有机质)。

柱状沉积物样品中正烷烃呈双峰分布,且高碳数正烷烃显示出明显的奇数碳优势(图 3),这是陆源高等植物输入的标志^[14, 38];同时,样品中也检测到了主要来源于陆源输入的 C_{29} 甾烷。因此,该柱状沉积物中有机质受到明显的陆源输入影响,这些陆源输入可能来自于河流(如长江等)的输运和风尘沉积物^[39-40]。

图 3 中可见,主要由支链和环状烃类物质构成的复杂混合物(UCM)的“驼包”面积相对较小,表明柱状沉积物样品中有机质可能未受到强烈的热蚀变,暗示出岩浆和火山活动对该柱状沉积物影响较小^[2, 28-29]。同时,样品中没有检测到低分子的支链和环状脂肪酸,可能也表明微生物的代谢活动对该柱状沉积物中有机物的贡献较小^[11, 41]。样品中低分子的正烷烃显示出明显的偶数碳优势,同时其最大值出现在 C_{16} 和 C_{18} 处,暗示大分子有机质的降解可能是这些低分子有机质的主要来源^[1-2]。本研究冲绳海槽北部柱状沉积物样品中有机质分布和组成表明,该柱状沉积物中有机质可能主要来源于陆源的输入以及高分子有机质的降解。

3.2 热液活动的指示

热液区周围沉积物中有机质通常受到热液活动的影响,因此,分析沉积物中有机质的分布和组成能对可能的未知热液活动进行指示^[1-2]。众所周知,柱状沉积物能很好地记录周围环境的变化信息,因此,通过受热液活动影响柱状沉积物中有机质的分布和组成研究,能够对该柱状沉积物附近热液活动时期进行估算。

柱状沉积物中 S10-7 样品中 3 个成熟度参数明显高于其他层位样品(表 4, 图 4),表明该层位样品

表 5 柱状样品中脂肪酸组成

Tab. 5 Composition of fatty acid in the sediment core

脂肪酸	质量比/(μg/g)																	
	S10-1	S10-2	S10-3	S10-4	S10-5	S10-6	S10-7	S10-8	S10-9	S10-10	S10-11	S10-12	S10-13	S10-14	S10-15	S10-16	S10-17	
十二烷酸	0.086	0.124	0.122	0.007	0.773	1.663	0.349	0.056	0.261	0.778	0.125	0.033	0.310	0.056	0.015	0.043	0.146	
十三烷酸	0.012	0.018	0.019	0.041	0.028	0.139	0.114	0.008	0.005	0.032	0.042	0.019	0.064	0.019	0.025	0.015	0.032	
十四烷酸	0.467	0.153	0.162	0.041	0.253	0.269	0.175	0.110	0.076	0.195	0.142	0.102	0.210	0.151	0.010	0.098	0.191	
十五烷酸	0.441	0.157	0.109	0.022	0.217	0.151	0.090	0.077	0.027	0.139	0.076	0.064	0.197	0.126	0.013	0.066	0.000	
十六烷酸	1.771	0.887	0.870	0.045	1.549	1.676	0.803	0.911	0.477	1.591	0.910	0.808	1.248	0.927	0.426	0.480	1.615	
十七烷酸	2.092	0.173	0.474	0.120	0.298	2.479	0.106	0.179	0.139	0.270	0.123	0.157	0.112	0.143	0.121	0.198	0.591	
反式油酸	1.378	0.262	0.435	0.084	0.613	0.385	0.548	0.758	0.366	0.490	0.675	0.448	0.741	0.430	0.601	0.521	0.211	
顺式油酸	0.535	0.181	0.183	0.248	0.241	0.197	0.277	0.330	0.317	0.178	0.351	0.269	0.606	0.348	0.439	0.385	0.183	
十八烷酸	0.859	0.486	0.400	0.137	0.851	0.660	16.916	0.508	0.325	0.538	0.376	0.409	0.566	0.404	0.445	0.209	0.594	
十九烷酸	0.214	0.112	0.126	0.164	0.073	0.037	0.144	0.043	0.014	0.023	0.038	0.041	0.112	0.007	0.028	0.107	0.105	
8, 10-二甲氧基-十八烷酸	0.681	0.508	0.062	0.011	0.062	0.045	0.330	0.063	0.082	0.083	0.307	0.078	0.092	1.097	0.311	0.291	0.154	
二十烷酸	0.338	0.203	0.119	0.149	0.311	0.133	0.147	0.117	0.111	0.101	0.129	0.147	0.244	0.186	0.151	0.131	0.202	
二十一烷酸	0.414	0.079	0.038	0.083	0.135	0.085	0.076	0.051	0.045	0.064	0.052	0.039	0.093	0.073	0.150	0.097	0.373	
10, 12-二甲氧基-二十烷酸	13.722	0.440	0.081	0.206	0.258	0.051	0.516	0.110	0.039	0.040	0.143	0.000	0.099	0.368	0.144	0.175	0.071	
二十二烯酸	3.536	2.573	4.105	14.384	10.748	4.022	6.690	7.559	6.547	3.594	9.626	5.216	6.830	3.654	9.076	6.030	1.718	
二十二烷酸	0.427	0.273	0.176	0.275	0.422	0.226	0.202	0.200	0.207	0.127	0.190	0.211	0.377	0.440	0.295	0.187	0.201	
二十三烷酸	0.677	0.377	0.446	0.153	0.639	0.222	0.621	0.194	0.685	0.191	0.395	0.312	0.217	0.313	0.421	0.458	0.249	
12, 14-二甲氧基-二十二烷酸	6.593	12.858	0.587	2.853	2.101	0.345	6.125	0.357	0.734	0.468	5.104	0.537	0.645	17.145	4.181	3.453	0.304	
二十四烷酸	0.000	0.497	0.127	0.159	0.264	0.111	0.258	0.146	0.099	0.074	0.092	0.092	0.245	0.227	0.153	0.150	0.066	
14, 16-二甲氧基-二十二烷酸	1.008	0.699	0.575	0.398	0.579	0.255	0.383	0.448	0.485	0.179	0.257	0.173	0.143	0.322	0.309	0.320	0.611	
二十六烷酸	1.389	5.764	0.159	0.512	0.104	0.035	2.644	0.090	0.343	0.052	0.211	0.082	0.623	0.468	0.762	0.877	0.079	
二十八烷酸	0.221	0.095	0.049	0.069	0.184	0.025	0.094	0.137	0.049	0.034	0.069	0.080	0.173	0.335	0.129	0.128	0.432	

受到明显的热蚀变的影响,同时也意味着这一时期该区周围环境温度较高^[28-29]。通过上文分析可知,样品中有机质,尤其是低分子的有机质,可能主要来源于高分子有机质的蚀变,而 S10-7 样品中沥青、烷烃和脂肪酸的含量明显高于其他层位样品,暗示该样品可能受到热蚀变的影响^[14, 37, 41]。同时, S10-7 样品中十八烷酸的含量高于其余站位几倍甚至几十倍,也支持了该样品中有机质热蚀变的结果^[11, 38, 42]。

上文分析中可知,由于不明显的 UCM 峰,岩浆活动和海底火山作用对该柱状沉积物中有机质的影响被排除^[2, 29-30]。因此, S10-7 样品中热蚀变可能来源于热液活动的作用^[2, 29-30]。在样品前处理时在该层位闻到的臭鸡蛋气味也支持了这一观点。综上所述,冲绳海槽北部该柱状沉积物周围可能存在未被发现的海底热液活动区,该热液喷口活动时期可能在 4~6 kaBP^[39-40]。

4 结论

通过上述对冲绳海槽柱状沉积物样品中有机质的分布和组成分析,得到以下结论: (1)柱状沉积物中有机质受到陆源输入影响,这些陆源输入可能来自于河流(如长江等)的输运和风尘沉积物。(2)大分子有机质的降解可能是该柱状沉积物中低分子有机质的主要来源。(3)该柱状沉积物周围可能存在未被发现的海底热液活动区,该热液喷口活动时期可能在 4~6 kaBP。

致谢: 感谢 HOBAB1 航次全体成员在样品采集过程中所作的贡献,感谢中国科学院海洋研究所舒云超和姜韬在样品前处理上的帮助,感谢中国科学院地质与地球物理研究所兰州油气资源研究中心孟谦祥老师和房嫒老师在样品分析和谱图解析上的帮助和贡献。

参考文献:

- [1] Lein A Y, Peresykin V I, Simoneit B R T. Origin of hydrocarbons in hydrothermal sulfide ores in the Mid-Atlantic Ridge[J]. *Lithology and Mineral Resources*, 2003, 38(5): 383-393.
- [2] Simoneit B R T, Lein A Y, Peresykin V I, et al. Composition and origin of hydrothermal petroleum and associated lipids in the sulfide deposits of the Rainbow Field (Mid-Atlantic Ridge at 36°N)[J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 2004, 68(10): 2275-2294.
- [3] Peng Xiaotong, Li Jiwei, Zhou Huaiyang, et al. Characteristics and source of inorganic and organic compounds in the sediments from two hydrothermal fields of the Central Indian and Mid-Atlantic Ridges[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2011, 41: 355-368.
- [4] Zhang Qiling, Hou Zengqian, Tang Shaohua. Organic composition of sulphide ores in the Okinawa Trough and its implications[J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 2001, 75(2): 196-203.
- [5] Kvenvolden K A, Rapp J B, Hostettler F D, et al. Petroleum associated with polymetallic sulfide in sediment from Gorda Ridge[J]. *Science*, 1986, 234(4781): 1231-1234.
- [6] Simoneit B R T. Lipid/bitumen maturation by hydrothermal activity in sediments Middle Valley, Leg 139[C]// Mottl M, Davis E E, Fisher A T, et al. *Proceedings Ocean Drilling Program, Scientific Results*. Texas: College Station, 1994: 447-465.
- [7] Simoneit B R T, Grimalt J O, Hayes J M. Low temperature hydrothermal maturation of organic matter in sediments from the Atlantis II Deep, Red Sea[J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1987, 51: 879-894.
- [8] Michaelis W, Jenisch A, Richnow H H. Hydrothermal petroleum generation in red sea sediments from the Kebrit and Shaban deeps[J]. *Applied Geochemistry*, 1990, 5(1-2): 103-114.
- [9] Chernova T G, Rao P S, Pikovskii Y I, et al. The composition and source of hydrocarbons in sediments taken from the tectonically active Andaman Backarc Basin, Indian Ocean[J]. *Marine Chemistry*, 2001, 75: 1-15.
- [10] Venkatesan M I, Rut E, Rao P S, et al. Hydrothermal petroleum in the sediments of the Andaman Backarc Basin, Indian Ocean[J]. *Applied Geochemistry*, 2003, 18: 845-861.
- [11] Li Jiwei, Zhou Huaiyang, Peng Xiaotong, et al. Abundance and distribution of fatty acids within the walls of an active deep-sea sulfide chimney[J]. *Journal of Sea Research*, 2011, 65: 333-339.
- [12] Li Jiwei, Peng Xiaotong, Zhou Huaiyang, et al. Characteristics and source of polycyclic aromatic hydrocarbons in the surface hydrothermal sediments from two hydrothermal fields of the Central Indian and Mid-Atlantic Ridges[J]. *Journal of Geochemical Exploration*, 2012, 46: 31-43.
- [13] Konn C, Charlou J L, Donval J P, et al. Hydrocarbons and oxidized organic compounds in hydrothermal fluids from Rainbow and Lost City ultramafic-hosted vents[J]. *Chemical Geology*, 2009, 258: 299-314.
- [14] Shulga N A, Peresykin V I, Revelskii I A. Composition research of n-alkanes in the samples of hydrothermal deposits of the Mid-Atlantic Ridge by means of gas chromatography-mass spectrometry[J]. *Oceanology*, 2010, 50(4): 479-487.

- [15] Proskurowski G, Lilley M D, Seewald J S, et al. Abiogenic hydrocarbon production at Lost City Hydrothermal Field[J]. *Science*, 2008, 319(5863): 604-607.
- [16] Bradley A S, Summons R E. Multiple origins of methane at the Lost City Hydrothermal Field[J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 2010, 297: 34-41.
- [17] Morgunova I P, Ivanov V N, Litvinenko I V, et al. Geochemistry of organic matter in bottom sediments of the Ashadze Hydrothermal Field[J]. *Oceanology*, 2012, 52(3): 345-353.
- [18] Petrova V I, Batova G I, Kursheva A V, et al. Geochemistry of organic matter of bottom sediments in the rises of the central Arctic Ocean[J]. *Russian Geology and Geophysics*, 2010, 51: 88-97.
- [19] McCollom T M, Seewald J S. Abiotic synthesis of organic compounds in deep-sea hydrothermal environments[J]. *Chemical Reviews*, 2007, 107: 382-401.
- [20] Konn C, Testemale D, Querellou J, et al. New insight into the contributions of thermogenic processes and biogenic sources to the generation of organic compounds in hydrothermal fluids[J]. *Geobiology*, 2011, 9: 79-93.
- [21] Zárate-del Valle P F, Rushdi A I, Simoneit B R T. Hydrothermal petroleum of Lake Chapala, Citala Rift, western Mexico: Bitumen compositions from source sediments and application of hydrous pyrolysis[J]. *Applied Geochemistry*, 2006, 21(4): 701-712.
- [22] 秦蕴珊, 赵一阳, 陈丽蓉. 东海地质[M]. 北京: 科学出版社, 1987: 1-20.
Qin Yunshan, Zhao Yiyang, Chen Lirong. *Geology of the East China Sea*[M]. Beijing: Science Press, 1987: 1-20.
- [23] 李家彪. 东海区域地质[M]. 北京: 海洋出版社, 2008: 2-30.
Li Jiabiao. *Areal geology of the East China Sea*[M]. Beijing: China Ocean Press, 2008: 2-30.
- [24] 李怀明, 翟世奎. 冲绳海槽岩浆活动研究进展及思考[J]. *地质论评*, 2008, 54(1): 120-124.
Li Huaiming, Zhai Shikui. *Advances and developments in study of the magmatism in the Okinawa Trough*[J]. *Geological Review*, 2008, 54(1): 120-124.
- [25] 尚鲁宁, 张训华, 韩波等. 冲绳海槽及邻区磁异常特征及其地质解释[J]. *海洋科学*, 2016, 40(5): 142-149.
Shang Luning, Zhang Xunhua, Han Bo, et al. *Magnetic anomaly pattern and interpretation of the Okinawa Trough and adjacent areas*[J]. *Marine Sciences*, 2016, 40(5): 142-149.
- [26] Zeng Zhigang. New hydrothermal field in the Okinawa Trough [EB/OL]. [2015-08-21]. <http://goldschmidt.info/2015/index>.
- [27] Zeng Zhigang, Chen Shuai, Ma Yao, et al. Chemical compositions of mussels and clams from the Tangyin and Yonaguni Knoll IV hydrothermal fields in the southwestern Okinawa Trough[J]. *Ore Geology Reviews*, 2017, 87: 172-191.
- [28] Zhai Shikui, Xu Shumei, Yu Zenghui, et al. Two possible hydrothermal vents in the northern Okinawa Trough[J]. *Chinese Science Bulletin*, 2001, 46: 943-945.
- [29] Rushdi A I, Simoneit B R T. Hydrothermal alteration of organic matter in sediments of the Northeastern Pacific Ocean: Part 1. Middle Valley, Juan de Fuca Ridge[J]. *Applied Geochemistry*, 2002, 17: 1401-1428.
- [30] Rushdi A I, Simoneit B R T. Hydrothermal alteration of organic matter in sediments of the Northeastern Pacific Ocean: Part 2. Escanaba Trough, Gorda Ridge[J]. *Applied Geochemistry*, 2002, 17: 1467-1494.
- [31] Enslinger A, van Dorsselaer A, Spyckerelle C, et al. Pentacyclic triterpenes of the hopane type as ubiquitous geochemical markers: origin and significance[C]// Tissot B, Biennier F. *Advances in Organic Geochemistry*. Paris: Technip, 1973: 245-260.
- [32] Peters K E, Moldowan J M. *The biomarker guide: interpreting molecular fossils in petroleum and ancient sediments*, Prentice Hall[J]. Englewood Cliffs, 1993: 1: 363-363.
- [33] Seifert W K, Moldowan J M. Applications of steranes, terpanes and monoaromatics to the maturation, migration and source of crude oils[J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1978, 42(1): 77-95.
- [34] Seifert W K, Moldowan J M. The effect of biodegradation on steranes and terpanes in crude oils[J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1979, 43(1): 111-126.
- [35] Mackenzie A S, Patience R L, Maxwell J R, et al. Molecular parameters of maturation in the Toarcian shales, Paris Basin, France—I. Changes in the configurations of acyclic isoprenoid alkanes, steranes and triterpanes[J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1980, 44(11): 1709-1721.
- [36] Ohkouchi N. *Lipids as biogeochemical tracers in the late Quaternary*[D]. Tokyo: University Tokyo, 1995.
- [37] Huang Xin, Zeng Zhigang, Chen Shuai, et al. Abundance and distribution of fatty acids in sediments of the South Mid-Atlantic Ridge[J]. *Journal of Ocean University of China*, 2015, 14(2): 277-283.
- [38] Elias V O, Simoneit B R T, Cardoso J N. Even n-alkane predominances on the Amazon shelf and a Northeast Pacific hydrothermal system[J]. *Naturwissenschaften*, 1997, 84: 415-420.
- [39] Li Tiegang, Xu Zhaokai, Lim D, et al. Sr-Nd isotopic constraints on detrital sediment provenance and paleoenvironmental change in the northern Okinawa Trough during the late Quaternary[J]. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2015, 399(2014):

- 236-245.
- [40] Xu Zhaokai, Li Tiegang, Chang Fengming, et al. Clay-sized sediment provenance change in the northern Okinawa Trough since 22 kyr BP and its paleoenvironmental implication[J]. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2014, 399: 236-245.
- [41] Yamanaka T, Sakata S. Abundance and distribution of fatty acids in hydrothermal vent sediments of the western Pacific Ocean[J]. *Organic Geochemistry*, 2004, 35: 573-582.
- [42] Huang Xin, Zeng Zhigang, Chen Shuai, et al. Component characteristics of organic matter in hydrothermal barnacle shells from Southwest Indian Ridge[J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 2013, 32(12): 60-67.

The geochemical characteristics of organic matter in sediment core of the northern of the Okinawa Trough: implication for hydrothermal activity

HUANG Xin, CHEN Fa-jin, QI Ya-li, HOU Qing-hua, CHEN Qing-xiang, PU Xiao-qiang
(Guangdong Province Key Laboratory for Coastal Ocean Variation and Disaster Prediction, Guangdong Ocean University, 524088, Zhanjiang, China)

Received: Oct. 23, 2017

Key words: the Okinawa Trough; sediment core; hydrothermal activity; organic matter

Abstract: Sediment core samples obtained from the northern of the Okinawa Trough were analyzed for the abundances and distributions of organic compounds by gas chromatography-mass spectrometer. The distributions and compositions of the n-alkanes in the sediment core exhibited an odd to even predominance of high molecular weight n-alkanes and showed a bimodal distribution. The low molecular weight n-alkanes showed an even to odd predominance with maxima at C_{16} and C_{18} in the sediment core. The concentration of bitumen, alkanes and fatty acid at the layer of 120~140 cm (sample S10-7) in the sediment core were all much higher than those in other layers, and the concentrations of octadecanoic acid in that sample was 16.915 $\mu\text{g/g}$, 1~2 orders of magnitude higher than those in other layers. Three maturity parameters in sample S10-7 were higher, suggesting that the sample might be thermally altered. The distributions and compositions of organic matter in sample S10-7 reflect that there may be one or several undetected hydrothermal fields near the sediment core of the northern of Okinawa Trough. The study aims to find out the main source of organic matter in the sediment core, and assess the seafloor hydrothermal activity around the sediment core, which will provide foundation for the research of the source of organic matter and hydrothermal activity in sediment of the northern of the Okinawa Trough.

(本文编辑: 刘珊珊)