

南海北部渐新世末沉积环境及物源突变事件

邵 磊¹ 庞 雄² 陈长民² 施和生² 李前裕¹ 乔培军¹

(1. 同济大学海洋地质国家重点实验室, 上海 200092; 2. 中海石油有限公司深圳分公司, 广东 广州 510240)

摘要:南海北部沉积物成分在渐新世末(23.8 Ma)发生剧烈改变,出现地球化学成分上的突变,并在深海沉积中发生沉积间断及滑塌堆积。这些沉积事件在时间上与南海扩张轴由东西方向转为北东—南西方向发生跳跃的时间十分吻合,是渐新世以来南海构造演化史上最重大的构造事件。经过这次构造事件,白云凹陷由渐新世晚期的浅水陆架环境转为中新世以后的深水陆坡环境,南海北部地区沉积物源由渐新世近源为主转变为中新世远源为主的供给特点;并使南海北部地区自中新世以来总体呈现海侵的特征。这次沉积环境与物源突变事件对南海北部地区油气藏的形成影响深远。

关键词:南海;白云凹陷;渐新世;沉积环境;物源分析

中图分类号:P534.61⁺4, P512.2 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-3657(2007)06-1022-10

长期以来由于缺乏深海长尺度钻井资料,使南海地区深海沉积学研究始终处于较低水平^[1,2]。1999年在南海开展的ODP184航次研究工作,首次在南海北部深海区钻取了32.8 Ma以来高精度沉积地层序列,发现南海北部地区沉积物源存在多期改变的现象。尤其是在渐新世末23.8 Ma沉积物源存在重大突变,各种物理参数均出现明显的突变和间断,是南海深海沉积记录中最为重大的一次构造运动^[3]。通过详细的古生物地层分析及沉积学研究发现,这次构造运动不是一次简单的运动,而是代表着一个复杂的构造活动期,中间存在几次明显的沉积间断^[4,5],特别是沉积物的Nd同位素 $\epsilon_{Nd}(0)$ 值由渐新世的-9转为中新世的-11左右^[6,7],其他元素含量也存在明显变化^[7,8]。这一物源突变事件不仅在ODP1148站沉积物中被发现,在珠江口盆地沉积物中同样存在^[9,10],庞雄将其定义为白云运动^[11]。同时,伴随沉积物源的突变,珠江口盆地的盆地性质以及沉积充填类型也发生明显改变^[11]。

然而,对于该时期沉积物源的演化过程则存在迥然不同的看法,Clift^[12]认为该时期南海北部物源由华南近岸物源逐步转为华南地块内部的纵深地带;Li^[13]则认为ODP1148站沉积物在渐新世源自南海南部的加里曼丹,到中新世则转变为南海北部源区,造成沉积物的Nd同位素 $\epsilon_{Nd}(0)$ 值出现明显突变;吴国璋^[14]通过孢粉研究发现,ODP1148站沉积物渐新世时期的孢粉特征与其北部珠江口盆地完全相同,两者完全可

以对比。可以看出,南海北部沉积物源在渐—中新世界线附近存在明显改变是一个不争的事实,但是对于这种演变是突变还是渐变,沉积物源自何方则存在明显不同的认识。特别是在中新世全球海平面总体下降的情况下,南海北部地区却表现相反,出现总体海侵的特点,其原因一直没有很好的答案^[15]。所有问题的根本点还是缺乏相关的研究资料,尤其是对南海北部沉积环境演变以及源区地质学缺乏系统的研究。

笔者在已有ODP1148站资料分析的基础上,采用珠江口盆地PY33-1-1以及2006年最新完成的中国第一口深水油气探井LW3-1-1井的研究资料,对这一问题进行深入探讨,以起到抛砖引玉的作用。

1 材料方法

南海ODP1148站位于北纬18°50.17',东经116°33.94'东沙群岛西南方,水深3294 m,取心长度859 m,时间跨度32.8 Ma,为连续深海沉积物柱状样,是南海大洋钻探中取心最长、年代最老的站位,详细记录了渐新世以来南海北部的沉积历史。PY33-1-1井位于珠江口盆地白云凹陷北坡,水深188 m,涉及地层厚度达5094 m,底部地层为渐新世恩平组;LW3-1-1井位于珠江口盆地白云凹陷南坡,介于PY33-1-1井和ODP1148站之间,距ODP1148站约120 km,水深约1480 m,底部地层为渐新世(图1)。

收稿日期:2007-05-14;改回日期:2007-06-20

基金项目:国家重点基础研究发展计划(2007CB819501)项目,国家自然科学基金项目(40238060)和大洋协会资助。

作者简介:邵磊,男,1960年生,1996年获德国理学博士学位,教授,博导,从事沉积岩石学及元素地球化学方面的研究工作;

E-Mail:lshaok@online.sh.cn.

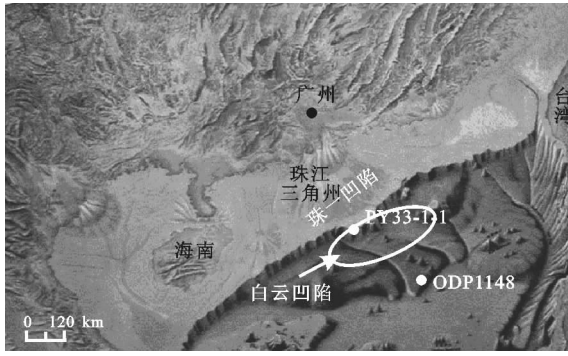


图 1 研究区及钻井位置示意图

Fig.1 Location map of the study areas and borehole sites

笔者主要采取沉积物元素地球化学方法,结合岩心观察及沉积环境分析,对 ODP1148 站以及珠江口盆地 PY33-1-1 井进行对比性研究。对 ODP1148 站自上而下以 5.5 m 等间距进行取样 154 个, PY33-1-1 井从 800 m 深度开始,约以 40 m 左右的间距取样 109 个。样品处理及测试分别在同济大学海洋地质国家重点实验室和中国科学院广州地球化学研究所同位素地球化学实验室完成,地球化学分析见表 1, ODP1148 站钕同位素分析见参考文献[7]。

2 结果及讨论

ODP1148 站沉积物主要由含钙质生物化石的黏土沉积物组成,除因埋藏深度不同造成压实程度不同,以及古近纪沉积物略发生早期成岩作用外,整个钻孔沉积物基本上未固结成岩。全井地层根据沉积特征可以分为 3 段^[9]:(1)0~458 m,位于渐—中新世滑塌层之上,由典型的深海半远洋沉积物组成,沉积物分布均匀,缺乏明显的沉积构造。所有沉积物均为原地沉积的产物,没有再沉积搬运及后期改造的现象;(2)458~472 m,为滑塌层段,由重力搬运再沉积的生物碳酸钙沉积物组成,生源碳酸钙含量达 50%左右。层内包卷层理,揉皱变形等滑塌构造十分发育,浅色的碳酸钙灰泥显示出明显的再改造特征;(3)472~859 m,沉积物由灰绿色钙质生物软泥组成,成分均一,生物扰动强烈。接近底部有少量小于 1 cm 厚度的砂质薄层,含有再搬运的浅水化石,应为浊流搬运的产物。最底部为渐新统碳酸盐岩沉积,已经完全固结成岩。总体来看,ODP1148 站生物组合反映海水从渐新世以来逐步加深的过程^[14,15]。PY33-1-1 井沉积物在渐新世时接受了恩平—珠海组的沉积,以沙泥互层和砂岩夹泥岩为特征;到中新世以后,沉积物主要以高含量的泥为特征,同样反映沉积水体明显加深的过程。最近在白云深水区钻探的 LW3-1-1 井在渐—中新世界线表现出明显的岩相突变,渐新世时接受大量浅水陆架三角洲砂岩沉积,具有极为发育的交错层理和生物垂向钻孔遗迹;但进入中新世后海水突然加深,接受深水相

泥岩夹低位扇砂岩沉积,岩石中层状菱铁矿发育,生物遗迹少见,仅见极少量水平爬迹,显示海水明显加深。

在沉积物物源研究中,沉积岩石学以及地球化学方法被证明是一个极为有效的手段。已有研究表明,尽管有沉积过程中的改造作用,物源区的地球化学成分是碎屑岩成分的主要控制因素^[16],并且一些微量元素的比值不发生明显改变,特别是一些元素的同位素及其比值不受沉积作用改造的影响。因此,通过分析碎屑岩的岩石学特征及化学成分即可确定母岩性质,追溯陆源沉积物物源演变历史。

ODP1148 站沉积物地球化学成分(表 1)演变特征已经有了详细研究,发现 ODP1148 站沉积物微量元素分别在多个时间面存在明显的不连续面^[8,9],晚渐新世是南海演化过程中构造活动十分活跃的时期,造成了多期次的地层缺失,并

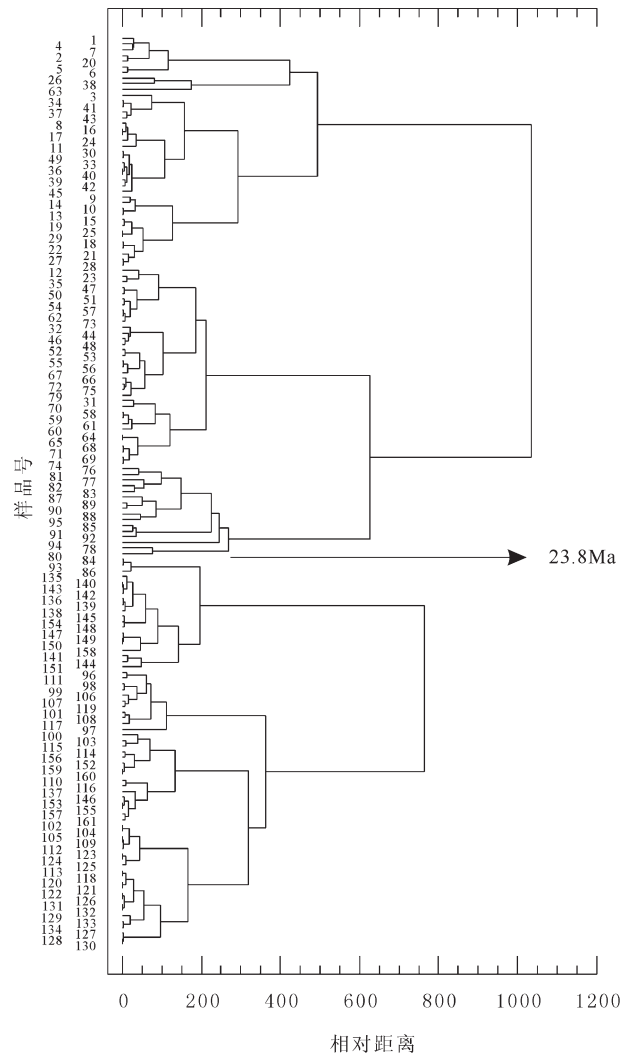


图 2 ODP1148 站沉积物稀土元素聚类分析图
Fig.2 Cluster analysis of trace elements in sediments of the ODP1148 site

表 1 PY33-1-1 井与 ODP1148 站稀土元素分析
Table 1 REE data for well PY33-1-1 and station ODP1148

PY33-1-1 井														
深度 (m)	La ($\mu\text{g/g}$)	Ce ($\mu\text{g/g}$)	Pr ($\mu\text{g/g}$)	Nd ($\mu\text{g/g}$)	Sm ($\mu\text{g/g}$)	Eu ($\mu\text{g/g}$)	Gd ($\mu\text{g/g}$)	Tb ($\mu\text{g/g}$)	Dy ($\mu\text{g/g}$)	Ho ($\mu\text{g/g}$)	Er ($\mu\text{g/g}$)	Tm ($\mu\text{g/g}$)	Yb ($\mu\text{g/g}$)	Lu ($\mu\text{g/g}$)
1000	33.666	71.550	7.735	30.049	5.621	1.252	6.202	0.872	4.960	0.862	2.595	0.391	2.505	0.351
1080	37.932	81.401	8.882	35.969	6.469	1.332	6.429	0.921	5.227	1.011	2.874	0.451	2.734	0.441
1180	28.794	61.658	6.492	25.226	4.643	1.025	4.794	0.744	3.518	0.663	1.940	0.302	1.859	0.251
1320	26.249	55.970	5.764	21.805	3.272	0.901	4.173	0.590	2.832	0.590	1.701	0.260	1.481	0.220
1420	22.283	49.593	5.148	20.590	3.705	0.801	3.115	0.501	2.333	0.511	1.322	0.150	1.072	0.180
1600	19.332	42.873	4.318	17.143	3.369	0.760	3.849	0.470	2.829	0.550	1.250	0.190	1.210	0.180
1660	26.092	59.506	6.437	26.283	5.080	0.966	5.210	0.674	3.943	0.724	2.002	0.262	1.670	0.251
1800	22.741	49.014	5.001	19.239	3.804	0.835	3.763	0.533	2.888	0.543	1.570	0.221	1.439	0.211
1920	22.006	48.228	5.386	21.135	3.795	0.801	3.795	0.501	2.903	0.701	1.922	0.230	1.532	0.190
2530	22.202	51.312	5.238	20.693	4.099	0.740	3.749	0.490	2.969	0.550	1.390	0.210	1.429	0.270
2650	41.357	90.459	9.081	36.244	5.746	1.336	6.118	0.784	3.908	0.763	2.240	0.311	1.999	0.281
2700	24.490	53.650	5.470	21.200	3.480	0.790	3.980	0.600	2.960	0.560	1.760	0.200	1.620	0.270
2750	32.999	71.220	7.422	30.148	5.652	1.300	5.702	0.910	5.041	0.970	2.631	0.380	2.341	0.340
2790	26.696	59.530	6.089	23.946	5.069	0.860	4.679	0.660	3.229	0.740	2.020	0.290	1.660	0.280
2840	27.734	59.721	6.204	24.546	4.344	1.106	4.686	0.664	3.560	0.694	2.071	0.302	1.981	0.272
2890	27.858	57.536	6.160	24.058	4.510	1.000	4.790	0.660	3.450	0.710	2.060	0.250	1.810	0.240
2950	25.380	54.922	5.712	23.579	4.652	0.990	4.842	0.680	3.862	0.720	2.201	0.310	1.981	0.290
2990	26.550	57.410	6.110	23.670	4.900	0.900	4.410	0.660	3.470	0.630	1.910	0.230	1.690	0.270
3040	25.961	55.215	6.146	23.387	4.620	0.848	4.450	0.619	3.542	0.678	1.906	0.269	1.527	0.259
3150	22.506	48.274	5.006	19.465	4.168	0.788	3.690	0.509	3.021	0.469	1.506	0.170	1.416	0.229
3190	32.709	69.190	7.236	28.097	5.060	1.038	4.701	0.709	4.112	0.779	2.276	0.309	2.056	0.279
3250	30.830	67.384	7.560	28.924	5.206	1.097	4.568	0.748	3.850	0.808	2.234	0.309	1.845	0.239
3295	31.717	66.815	7.492	29.196	4.541	1.090	4.471	0.670	4.031	0.770	2.280	0.340	2.260	0.320
3380	24.303	50.778	5.788	20.808	3.955	0.821	4.005	0.611	3.324	0.681	1.873	0.280	1.652	0.260
3395	24.384	51.662	5.906	23.494	3.824	0.791	4.394	0.601	3.463	0.711	2.072	0.310	1.862	0.280
3450	32.583	68.047	7.669	30.104	5.220	1.154	5.420	0.873	4.648	0.853	2.640	0.361	2.710	0.391
3495	17.182	36.687	4.172	15.694	3.137	0.643	2.694	0.503	2.373	0.563	1.347	0.191	1.488	0.241
3560	17.532	37.820	4.323	16.484	3.375	0.659	3.295	0.419	2.586	0.449	1.388	0.220	1.238	0.210
3610	16.326	35.652	3.979	15.257	3.559	0.620	3.099	0.490	2.879	0.460	1.480	0.220	1.650	0.240
3650	11.944	25.609	2.693	10.192	1.942	0.420	2.363	0.300	1.612	0.300	0.981	0.130	0.881	0.120
3795	35.732	73.841	8.454	30.407	6.318	1.023	6.087	0.832	4.924	1.053	2.658	0.401	2.567	0.391
3800	35.583	74.955	8.566	32.805	6.147	1.399	6.757	0.920	4.428	0.970	2.889	0.480	2.759	0.440
3840	45.445	97.914	10.953	40.619	8.202	1.592	8.353	1.219	6.701	1.330	3.577	0.524	3.648	0.514
3910	20.718	51.117	4.980	19.221	3.713	0.748	3.792	0.489	2.685	0.539	1.377	0.160	1.128	0.230
3950	18.042	40.148	4.473	16.784	3.075	0.669	3.235	0.409	2.277	0.469	1.368	0.210	1.168	0.200
4010	31.693	70.636	7.751	31.453	5.740	1.320	6.011	0.810	4.720	0.870	2.660	0.450	2.480	0.420
4045	44.346	90.812	10.507	38.408	7.808	1.380	7.298	1.080	5.698	1.140	3.259	0.510	3.049	0.480
4120	40.942	86.606	9.575	37.040	7.284	1.391	7.094	1.021	6.664	1.431	3.982	0.690	4.432	0.680
4145	35.437	73.402	8.342	31.261	6.094	1.239	6.254	0.899	4.945	1.019	2.897	0.380	3.047	0.430
4190	21.923	44.976	4.906	18.996	3.497	0.769	3.307	0.500	3.128	0.600	1.649	0.250	1.599	0.250
4290	40.551	81.122	9.325	34.828	6.113	1.121	6.013	0.890	4.632	0.961	2.691	0.400	2.691	0.400
4350	48.428	100.942	11.116	41.698	7.711	1.482	7.511	1.122	6.529	1.272	3.755	0.591	3.495	0.511
4470	51.755	108.269	11.887	45.627	7.868	1.610	8.468	1.150	6.518	1.320	3.599	0.520	3.439	0.490
4500	50.156	100.872	11.487	41.168	8.138	1.610	8.238	1.020	6.168	1.320	3.759	0.520	3.479	0.560
4605	39.913	81.012	9.169	34.303	6.454	1.418	6.223	1.005	6.032	1.146	3.107	0.422	3.137	0.462
4705	46.848	96.511	10.700	41.127	8.135	1.363	7.945	1.032	5.971	1.112	2.885	0.451	2.925	0.461
4775	24.126	50.548	5.660	21.561	4.632	0.998	4.352	0.659	3.813	0.699	1.976	0.329	1.797	0.339
4855	12.088	25.736	2.812	10.857	1.771	0.440	1.341	0.240	1.361	0.220	0.821	0.100	0.791	0.110
4955	16.074	34.124	3.570	14.029	2.457	0.602	3.028	0.411	2.407	0.501	1.163	0.231	1.534	0.241
5040	32.003	64.697	7.279	27.401	5.294	0.952	5.244	0.702	4.010	0.772	2.647	0.281	2.206	0.341
5070	17.430	35.157	4.021	15.277	2.919	0.623	2.776	0.480	2.541	0.500	1.521	0.184	1.470	0.204

续表 1

ODP1148 站														
深度 (m)	La ($\mu\text{g/g}$)	Ce ($\mu\text{g/g}$)	Pr ($\mu\text{g/g}$)	Nd ($\mu\text{g/g}$)	Sm ($\mu\text{g/g}$)	Eu ($\mu\text{g/g}$)	Gd ($\mu\text{g/g}$)	Tb ($\mu\text{g/g}$)	Dy ($\mu\text{g/g}$)	Ho ($\mu\text{g/g}$)	Er ($\mu\text{g/g}$)	Tm ($\mu\text{g/g}$)	Yb ($\mu\text{g/g}$)	Lu ($\mu\text{g/g}$)
49.11	34.139	69.336	8.352	29.843	4.638	0.952	3.738	0.678	3.984	0.943	2.916	0.454	2.990	0.473
60.21	33.496	69.281	7.580	27.618	4.666	0.914	3.382	0.607	3.666	0.862	2.692	0.409	2.795	0.427
68.68	30.163	62.872	6.830	26.308	4.094	0.703	2.748	0.598	3.410	0.674	2.005	0.303	2.118	0.357
70.18	32.319	67.318	7.833	28.396	4.595	0.962	3.661	0.664	3.885	0.907	2.857	0.431	2.851	0.448
79.98	34.658	74.784	8.449	30.536	4.922	0.987	3.879	0.704	4.215	0.992	3.077	0.466	3.119	0.470
89.48	37.742	78.622	9.065	32.679	5.208	1.015	3.956	0.716	4.370	1.002	3.224	0.474	3.204	0.491
100.03	35.958	74.013	8.575	30.931	4.976	0.990	3.808	0.671	4.183	0.948	3.024	0.461	3.084	0.470
110.48	28.627	58.563	6.534	23.563	3.785	0.755	2.864	0.523	3.101	0.717	2.275	0.344	2.336	0.361
121.41	30.423	64.226	7.068	25.325	3.908	0.808	3.123	0.555	3.371	0.778	2.467	0.368	2.558	0.390
126.86	31.536	64.568	7.227	25.810	4.033	0.812	3.125	0.544	3.379	0.776	2.492	0.374	2.545	0.379
131.36	30.085	61.049	6.674	24.636	3.985	0.692	2.648	0.537	3.243	0.672	2.110	0.346	2.386	0.364
141.31	29.189	61.336	6.582	24.737	3.874	0.657	2.432	0.539	3.106	0.636	1.914	0.296	2.127	0.347
151.03	31.981	63.275	7.384	26.113	4.047	0.796	3.070	0.553	3.251	0.768	2.408	0.371	2.493	0.385
156.03	33.993	67.723	7.936	28.215	4.345	0.869	3.176	0.561	3.363	0.784	2.523	0.383	2.576	0.402
160.53	31.812	65.869	7.594	27.045	4.235	0.848	3.260	0.586	3.509	0.800	2.540	0.388	2.563	0.398
165.63	27.704	58.602	6.591	23.419	3.741	0.772	2.996	0.532	3.264	0.777	2.395	0.372	2.450	0.373
170.13	27.482	57.780	6.484	23.538	3.817	0.789	3.037	0.558	3.288	0.766	2.424	0.365	2.410	0.374
175.23	29.776	62.040	7.056	25.207	4.057	0.837	3.329	0.598	3.624	0.840	2.645	0.400	2.705	0.409
179.73	30.674	62.784	7.211	25.890	4.177	0.821	3.295	0.576	3.563	0.813	2.548	0.392	2.624	0.397
184.83	32.079	65.552	7.584	27.320	4.406	0.909	3.541	0.619	3.735	0.855	2.709	0.413	2.766	0.418
189.33	29.284	59.697	6.887	24.683	3.939	0.782	3.164	0.596	3.667	0.878	2.770	0.414	2.840	0.427
194.53	29.561	64.607	6.965	25.069	4.077	0.830	3.431	0.621	3.707	0.844	2.690	0.419	2.751	0.428
199.03	26.302	52.641	5.747	21.266	3.363	0.584	2.386	0.495	2.933	0.629	1.873	0.307	2.057	0.333
204.23	28.685	60.623	6.635	23.678	3.807	0.757	2.999	0.548	3.221	0.748	2.337	0.367	2.448	0.376
208.73	30.482	62.435	7.080	24.970	4.021	0.776	3.188	0.574	3.470	0.793	2.554	0.383	2.604	0.395
213.83	31.990	64.551	7.354	26.226	3.943	0.785	3.191	0.580	3.602	0.839	2.693	0.412	2.738	0.422
218.33	32.690	62.171	7.298	25.984	3.963	0.772	3.143	0.559	3.499	0.817	2.628	0.396	2.689	0.409
223.53	33.123	62.555	7.584	26.658	4.093	0.790	3.175	0.581	3.549	0.839	2.691	0.408	2.737	0.419
228.03	32.052	62.276	7.156	25.318	3.876	0.752	3.040	0.546	3.369	0.789	2.452	0.386	2.539	0.387
233.13	27.463	54.828	6.200	21.674	3.369	0.634	2.571	0.475	2.915	0.673	2.177	0.328	2.249	0.342
237.63	23.281	53.471	5.667	20.082	3.084	0.610	2.482	0.444	2.740	0.661	2.078	0.326	2.150	0.331
242.73	24.672	49.746	5.197	20.431	3.047	0.480	1.965	0.509	2.759	0.543	1.578	0.229	1.697	0.316
247.23	28.588	58.471	6.379	22.670	3.463	0.687	2.770	0.484	2.956	0.684	2.171	0.330	2.227	0.343
252.33	29.422	57.052	6.546	22.779	3.499	0.666	2.736	0.479	2.897	0.670	2.117	0.330	2.241	0.340
256.83	25.719	51.384	5.464	21.022	3.204	0.534	2.233	0.515	2.946	0.618	1.865	0.292	2.068	0.354
261.93	27.971	60.845	6.295	21.933	3.440	0.681	2.721	0.484	2.917	0.686	2.166	0.348	2.293	0.354
266.43	27.850	56.758	6.294	21.627	3.432	0.653	2.650	0.492	3.045	0.717	2.254	0.349	2.354	0.357
271.53	28.153	60.501	6.266	21.881	3.450	0.672	2.773	0.497	3.025	0.718	2.235	0.355	2.321	0.363
276.03	27.386	56.680	6.149	21.626	3.305	0.630	2.636	0.468	2.870	0.658	2.143	0.327	2.264	0.354
281.13	27.190	60.532	6.267	21.501	3.367	0.664	2.644	0.493	2.933	0.702	2.203	0.337	2.287	0.351
285.63	27.997	57.167	6.193	21.560	3.364	0.640	2.663	0.494	2.982	0.698	2.222	0.343	2.297	0.357
290.73	28.876	59.935	6.444	22.781	3.473	0.675	2.716	0.485	3.045	0.711	2.246	0.347	2.354	0.363
295.23	29.825	62.039	6.585	23.143	3.521	0.674	2.796	0.503	3.076	0.722	2.289	0.350	2.364	0.366
300.33	22.875	43.699	4.774	18.510	2.757	0.436	1.941	0.501	2.797	0.543	1.675	0.258	1.900	0.333
304.83	28.252	57.074	6.375	22.455	3.431	0.652	2.708	0.493	3.063	0.731	2.275	0.350	2.418	0.379
310.03	22.712	48.296	4.815	17.798	2.732	0.456	1.971	0.440	2.552	0.559	1.748	0.274	1.975	0.326
314.53	26.741	51.248	5.970	20.722	3.152	0.608	2.365	0.446	2.792	0.665	2.109	0.327	2.196	0.332
319.63	23.451	46.188	4.972	18.290	2.736	0.454	1.850	0.425	2.511	0.514	1.582	0.254	1.787	0.303

续表 1

ODP1148 站														
深度 (m)	La ($\mu\text{g/g}$)	Ce ($\mu\text{g/g}$)	Pr ($\mu\text{g/g}$)	Nd ($\mu\text{g/g}$)	Sm ($\mu\text{g/g}$)	Eu ($\mu\text{g/g}$)	Gd ($\mu\text{g/g}$)	Tb ($\mu\text{g/g}$)	Dy ($\mu\text{g/g}$)	Ho ($\mu\text{g/g}$)	Er ($\mu\text{g/g}$)	Tm ($\mu\text{g/g}$)	Yb ($\mu\text{g/g}$)	Lu ($\mu\text{g/g}$)
324.13	27.235	53.712	6.011	20.999	3.241	0.614	2.495	0.459	2.861	0.671	2.103	0.326	2.242	0.338
329.33	25.592	47.854	5.717	20.480	3.146	0.580	2.373	0.458	2.773	0.650	2.091	0.322	2.158	0.336
333.83	22.944	44.461	5.137	18.116	2.839	0.598	2.212	0.427	2.662	0.627	2.001	0.314	2.176	0.337
338.93	21.788	41.799	4.948	17.065	2.659	0.529	2.103	0.416	2.639	0.633	1.984	0.314	2.156	0.327
343.43	22.347	42.845	5.028	17.917	2.746	0.568	2.161	0.422	2.607	0.616	1.958	0.301	2.028	0.319
348.53	24.409	45.482	5.442	19.227	2.945	0.598	2.246	0.436	2.734	0.647	2.038	0.317	2.149	0.329
353.03	22.831	43.514	4.858	17.243	2.718	0.618	2.205	0.377	2.573	0.563	1.822	0.288	1.992	0.304
358.03	22.671	43.389	4.883	17.134	2.794	0.594	2.175	0.380	2.601	0.564	1.888	0.285	2.019	0.310
362.53	25.332	48.854	5.474	19.135	3.025	0.646	2.321	0.399	2.663	0.588	1.946	0.295	2.047	0.310
367.63	25.836	49.640	5.540	19.065	3.009	0.670	2.453	0.408	2.799	0.616	2.012	0.319	2.131	0.324
372.13	26.251	48.645	5.569	19.500	3.015	0.647	2.332	0.406	2.727	0.601	1.955	0.307	2.224	0.326
377.47	26.205	50.994	5.576	19.674	3.064	0.650	2.359	0.402	2.836	0.607	2.031	0.303	2.142	0.323
380.47	26.944	53.639	5.817	20.128	3.289	0.672	2.473	0.439	2.954	0.650	2.076	0.324	2.261	0.342
387.17	25.174	47.612	5.322	18.581	2.979	0.633	2.375	0.408	2.803	0.614	2.078	0.311	2.149	0.328
390.17	24.686	54.641	5.280	18.629	2.943	0.659	2.308	0.376	2.600	0.557	1.864	0.289	1.975	0.312
396.87	24.555	47.746	5.241	17.945	2.913	0.612	2.054	0.380	2.558	0.546	1.846	0.281	1.960	0.304
399.87	24.289	47.851	5.186	18.330	2.862	0.622	2.143	0.371	2.568	0.559	1.828	0.285	1.945	0.305
406.47	23.135	42.156	4.971	17.338	2.699	0.574	2.034	0.360	2.515	0.525	1.760	0.276	1.918	0.294
409.47	23.061	42.979	4.923	17.094	2.659	0.579	1.898	0.367	2.534	0.559	1.830	0.288	1.990	0.309
416.17	22.436	41.799	4.770	16.818	2.605	0.576	1.887	0.360	2.467	0.549	1.834	0.291	2.010	0.306
419.17	24.245	45.384	5.078	17.888	2.738	0.603	2.083	0.382	2.608	0.585	1.907	0.299	2.085	0.319
425.87	25.213	45.502	5.397	18.841	2.982	0.604	2.196	0.396	2.717	0.609	1.995	0.304	2.107	0.328
428.87	23.138	43.520	4.969	17.396	2.711	0.580	2.017	0.369	2.554	0.560	1.890	0.295	1.996	0.305
438.47	21.921	41.144	4.714	16.347	2.661	0.543	1.962	0.361	2.480	0.546	1.798	0.282	1.921	0.292
445.17	25.355	45.756	5.445	19.040	2.998	0.627	2.220	0.396	2.731	0.587	1.926	0.293	2.079	0.313
448.17	24.386	44.873	5.268	18.286	2.909	0.690	2.172	0.383	2.604	0.587	1.881	0.295	2.074	0.317
454.77	23.944	43.409	5.117	17.863	2.789	0.621	1.984	0.353	2.466	0.539	1.756	0.272	1.907	0.294
455.27	16.609	49.794	3.811	14.471	2.640	0.490	2.590	0.471	3.124	0.684	2.173	0.392	2.523	0.409
455.47	11.494	50.942	3.061	12.429	2.456	0.481	2.575	0.451	3.091	0.668	2.156	0.395	2.562	0.407
456.97	17.602	47.408	3.999	15.203	2.853	0.547	2.769	0.512	3.497	0.750	2.419	0.437	2.876	0.459
457.77	20.272	37.037	4.325	15.038	2.400	0.533	1.880	0.339	2.322	0.516	1.680	0.259	1.781	0.270
459.27	18.135	63.159	4.284	16.571	3.093	0.583	3.252	0.580	3.811	0.820	2.597	0.461	3.018	0.479
460.77	15.631	54.641	3.600	13.831	2.653	0.501	2.705	0.485	3.282	0.701	2.272	0.395	2.543	0.413
462.27	13.287	38.136	3.002	11.407	2.179	0.420	2.287	0.433	2.961	0.640	2.049	0.364	2.353	0.374
464.07	13.623	43.530	3.107	12.178	2.335	0.441	2.487	0.444	3.159	0.669	2.128	0.376	2.480	0.400
464.37	14.631	27.605	3.208	11.336	1.838	0.398	1.450	0.267	1.890	0.438	1.453	0.229	1.607	0.252
465.87	10.768	34.365	2.460	9.555	1.844	0.362	1.918	0.360	2.525	0.554	1.734	0.320	2.066	0.333
467.37	16.539	30.869	3.636	12.491	2.045	0.475	1.566	0.288	2.068	0.479	1.569	0.251	1.720	0.259
467.37	12.325	50.067	2.983	11.591	2.232	0.419	2.396	0.434	2.777	0.616	1.939	0.347	2.192	0.370
468.87	10.841	52.674	2.699	10.239	1.996	0.416	2.293	0.395	2.606	0.573	1.812	0.331	2.106	0.343
470.37	13.467	45.892	3.044	11.800	2.207	0.412	2.390	0.418	2.830	0.620	1.959	0.344	2.228	0.358
471.87	14.511	50.202	3.234	12.511	2.325	0.438	2.360	0.425	2.854	0.632	2.055	0.369	2.391	0.385
472.67	11.965	33.495	2.767	10.785	1.990	0.378	2.154	0.373	2.598	0.564	1.848	0.335	2.179	0.349
473.67	10.437	30.040	2.315	8.990	1.693	0.331	1.866	0.337	2.330	0.525	1.659	0.300	1.977	0.322
473.97	15.127	28.225	3.236	11.437	1.822	0.470	1.376	0.264	1.899	0.421	1.403	0.221	1.523	0.237
475.17	9.801	46.361	2.388	9.335	1.846	0.417	1.973	0.331	2.212	0.483	1.451	0.276	1.653	0.263
476.67	11.592	44.323	2.740	10.622	1.888	0.390	2.072	0.357	2.433	0.543	1.718	0.305	1.951	0.322
476.97	8.310	15.141	1.628	7.228	1.011	0.146	0.625	0.219	1.068	0.196	0.576	0.076	0.579	0.127
480.32	5.110	9.472	1.100	3.914	0.620	0.167	0.461	0.083	0.612	0.140	0.447	0.073	0.501	0.077
480.53	5.530	14.709	1.255	5.046	0.916	0.176	0.820	0.140	1.020	0.223	0.658	0.138	0.789	0.145
485.32	7.941	14.916	1.802	6.320	1.055	0.209	0.740	0.143	0.994	0.230	0.777	0.121	0.846	0.137
485.47	4.806	13.583	1.078	4.439	0.862	0.162	0.797	0.121	0.920	0.201	0.621	0.119	0.698	0.118
489.42	6.726	12.520	1.565	5.634	0.974	0.194	0.715	0.138	0.960	0.209	0.708	0.111	0.775	0.125
490.02	10.897	19.982	2.458	8.949	1.489	0.279	1.093	0.195	1.388	0.303	0.971	0.157	1.083	0.170
490.75	6.748	16.463	1.490	5.854	1.093	0.198	0.997	0.158	1.192	0.259	0.775	0.139	0.889	0.160
494.02	11.077	20.635	2.549	8.890	1.439	0.279	1.055	0.191	1.319	0.286	0.950	0.150	1.048	0.161

续表 1

ODP1148 站														
深度 (m)	La ($\mu\text{g/g}$)	Ce ($\mu\text{g/g}$)	Pr ($\mu\text{g/g}$)	Nd ($\mu\text{g/g}$)	Sm ($\mu\text{g/g}$)	Eu ($\mu\text{g/g}$)	Gd ($\mu\text{g/g}$)	Tb ($\mu\text{g/g}$)	Dy ($\mu\text{g/g}$)	Ho ($\mu\text{g/g}$)	Er ($\mu\text{g/g}$)	Tm ($\mu\text{g/g}$)	Yb ($\mu\text{g/g}$)	Lu ($\mu\text{g/g}$)
495.87	6.717	18.089	1.495	5.877	1.050	0.197	1.008	0.161	1.207	0.258	0.769	0.153	0.922	0.169
499.02	9.811	17.920	2.239	7.947	1.281	0.245	0.895	0.163	1.128	0.248	0.803	0.131	0.899	0.139
499.62	9.069	16.655	2.061	7.297	1.239	0.239	0.916	0.166	1.155	0.257	0.836	0.134	0.916	0.147
499.97	4.937	13.080	1.103	4.517	0.833	0.163	0.815	0.125	0.934	0.204	0.606	0.118	0.709	0.120
504.62	10.568	19.426	2.392	8.524	1.419	0.271	1.028	0.195	1.286	0.278	0.924	0.148	1.024	0.158
505.02	10.217	23.889	2.191	8.332	1.410	0.267	1.336	0.219	1.472	0.321	1.014	0.190	1.174	0.203
505.27	9.469	17.586	1.886	8.049	1.129	0.155	0.608	0.219	1.029	0.178	0.524	0.070	0.568	0.125
513.62	11.366	20.696	2.575	9.174	1.483	0.290	1.072	0.194	1.318	0.285	0.966	0.155	1.053	0.168
514.67	13.130	23.428	2.878	10.334	1.690	0.320	1.235	0.220	1.482	0.319	1.094	0.171	1.171	0.185
515.92	6.229	14.196	1.436	5.760	1.047	0.196	0.917	0.154	1.120	0.241	0.733	0.136	0.908	0.147
517.42	6.111	15.072	1.391	5.423	0.954	0.185	0.837	0.134	1.020	0.216	0.670	0.129	0.784	0.134
518.92	8.626	21.802	1.880	7.304	1.288	0.256	1.141	0.188	1.361	0.295	0.903	0.175	1.077	0.186
520.42	6.320	13.163	1.298	5.119	0.861	0.160	0.666	0.101	0.768	0.164	0.508	0.099	0.559	0.096
523.67	13.182	24.048	2.925	10.483	1.704	0.338	1.254	0.222	1.502	0.332	1.081	0.171	1.179	0.188
523.97	9.796	19.213	2.164	7.636	1.256	0.235	0.905	0.169	1.155	0.263	0.850	0.135	0.955	0.147
526.97	12.154	22.802	2.905	9.816	1.668	0.326	1.257	0.240	1.421	0.361	1.179	0.187	1.301	0.209
533.97	13.069	25.086	3.086	10.623	1.742	0.339	1.323	0.243	1.509	0.364	1.199	0.187	1.316	0.205
536.97	11.671	21.917	2.770	9.339	1.532	0.308	1.160	0.217	1.377	0.333	1.095	0.180	1.236	0.191
542.92	10.174	19.032	2.403	8.210	1.383	0.272	1.076	0.195	1.245	0.303	0.972	0.156	1.126	0.172
551.92	9.545	19.021	2.287	7.826	1.293	0.264	1.071	0.201	1.266	0.314	1.024	0.169	1.143	0.181
553.17	9.748	22.137	2.207	7.392	1.226	0.246	0.957	0.167	1.059	0.266	0.876	0.151	1.049	0.167
561.52	10.177	19.623	2.444	8.182	1.439	0.285	1.165	0.214	1.357	0.331	1.080	0.179	1.216	0.192
562.87	14.110	26.346	3.315	11.202	1.842	0.340	1.425	0.261	1.596	0.389	1.262	0.208	1.411	0.221
565.87	14.714	29.182	3.434	11.591	1.890	0.372	1.444	0.260	1.612	0.390	1.286	0.208	1.480	0.229
572.47	11.037	22.750	2.580	12.753	1.497	0.287	1.175	0.221	1.483	0.371	1.236	0.204	1.443	0.225
575.47	15.314	27.967	3.435	11.627	1.933	0.393	1.452	0.265	1.651	0.414	1.361	0.224	1.535	0.245
582.07	11.601	21.538	2.672	8.954	1.469	0.281	1.132	0.203	1.321	0.328	1.081	0.179	1.265	0.203
585.07	12.531	23.449	2.898	9.700	1.582	0.309	1.147	0.218	1.337	0.333	1.073	0.182	1.264	0.197
591.77	11.824	22.659	2.763	9.047	1.459	0.305	0.987	0.199	1.292	0.323	1.042	0.175	1.265	0.195
593.27	11.868	27.573	2.634	8.791	1.409	0.286	1.119	0.205	1.289	0.329	1.100	0.172	1.247	0.193
600.87	9.642	24.303	2.360	8.712	1.605	0.276	1.564	0.306	2.083	0.472	1.461	0.240	1.677	0.265
610.47	8.134	18.912	2.018	7.469	1.383	0.231	1.328	0.272	1.879	0.432	1.379	0.228	1.609	0.261
620.07	6.938	17.358	1.691	6.220	1.151	0.245	1.111	0.217	1.491	0.342	1.098	0.187	1.295	0.212
629.67	8.101	17.769	1.994	7.189	1.365	0.224	1.337	0.271	1.909	0.450	1.430	0.239	1.693	0.270
639.27	7.184	17.962	1.807	6.694	1.236	0.224	1.276	0.253	1.771	0.414	1.320	0.222	1.551	0.253
648.97	8.169	19.345	2.054	7.459	1.394	0.231	1.426	0.286	1.980	0.457	1.458	0.234	1.679	0.265
658.39	12.083	31.076	2.991	10.754	1.919	0.337	1.772	0.336	2.187	0.497	1.552	0.252	1.728	0.278
668.37	8.739	21.229	2.153	7.944	1.439	0.259	1.444	0.282	1.950	0.455	1.421	0.236	1.659	0.261
677.97	8.122	18.586	2.022	7.388	1.381	0.234	1.366	0.289	2.004	0.455	1.456	0.235	1.654	0.262
687.67	10.819	26.068	2.640	9.571	1.750	0.297	1.635	0.316	2.105	0.475	1.486	0.245	1.670	0.274
697.27	7.167	18.479	1.794	6.717	1.252	0.267	1.291	0.266	1.835	0.420	1.332	0.218	1.535	0.241
706.3	5.866	13.830	1.444	5.315	1.014	0.206	1.061	0.217	1.514	0.360	1.129	0.188	1.283	0.210
716	9.044	20.853	2.209	7.981	1.459	0.238	1.446	0.289	1.997	0.456	1.434	0.235	1.650	0.265
725.6	8.778	22.109	2.150	7.812	1.419	0.274	1.311	0.260	1.746	0.394	1.237	0.203	1.419	0.225
744.8	7.997	18.587	1.977	7.279	1.375	0.225	1.386	0.279	1.957	0.456	1.432	0.239	1.659	0.261
754.5	7.925	19.645	1.938	7.116	1.390	0.234	1.424	0.292	2.042	0.474	1.514	0.258	1.768	0.283
763.8	12.627	29.974	2.967	10.685	1.949	0.327	1.777	0.348	2.362	0.544	1.717	0.280	1.963	0.310
773.4	4.807	12.086	1.213	4.493	0.842	0.172	0.851	0.169	1.192	0.284	0.896	0.149	1.047	0.172
781.7	6.313	16.005	1.567	5.743	1.082	0.213	1.046	0.202	1.423	0.329	1.052	0.175	1.229	0.197
791.3	6.658	20.338	1.675	6.350	1.227	0.232	1.252	0.242	1.693	0.388	1.211	0.200	1.429	0.229
801	5.633	16.271	1.395	5.198	0.953	0.198	0.979	0.199	1.385	0.320	1.040	0.173	1.218	0.193
810.6	4.382	11.077	1.101	4.027	0.747	0.153	0.768	0.160	1.118	0.264	0.865	0.143	1.007	0.162
815.2	5.690	11.778	1.384	5.094	0.931	0.185	0.920	0.190	1.383	0.330	1.086	0.184	1.307	0.215
821.2	6.923	17.257	1.716	6.257	1.165	0.197	1.184	0.240	1.695	0.392	1.276	0.217	1.480	0.241
825.8	5.169	10.665	1.227	4.434	0.778	0.157	0.775	0.163	1.180	0.288	0.935	0.156	1.110	0.184
840.5	5.543	11.355	1.301	4.737	0.847	0.156	0.778	0.168	1.211	0.290	0.957	0.160	1.158	0.185
850.1	5.995	12.262	1.417	5.114	0.923	0.182	0.915	0.188	1.349	0.312	1.029	0.171	1.197	0.199

在 458 m 23.8 Ma 渐—中新世界线发育了约 14 m 厚的滑塌层,各种元素含量发生剧烈变化,是南海深海沉积中记录的最大一次构造运动^[8,17],这次构造运动与南海扩张轴发生跳跃的时间十分吻合^[8];23.8 Ma 以后,各种元素含量总体变化较小,反映南海相对比较平静的发展时期^[8,9]。采用稀土元素进行的聚类分析显示,ODP1148 站沉积物明显以 23.8 Ma 为界分为两个组,在 154 个样品中仅有 11 个样品误分,显示出极高的准确性(图 2)。由于沉积物稀土元素成分主要受母源区岩石成分的控制,故可以认为,ODP1148 站沉积物物源在 23.8 Ma 发生明显改变。

ODP1148 站地球化学成分(表 1)所揭示的构造地层界线在珠江口盆地是否存在一直是人们关心的问题,通过系统分析 PY33-1-1 井地球化学成分(表 1)显示,ODP1148 站揭示的主要构造沉积地层界线在珠江口盆地同样存在^[9,10]。研究表明 ODP1148 站 Nd 同位素值有随时间发生改变的现象,尤其是在 23.8 Ma 渐—中新世界线处,Nd 同位素 $\epsilon_{Nd}(0)$ 值,从早渐新世的-9~-11 降至中新世的-12~-13,说明当时南海的沉积源区发生了较大的改变^[7]。PY33-1-1 井 Nd 同位素 $\epsilon_{Nd}(0)$ 值与 ODP1148 站一样,以 23.8 Ma 为界分为两个阶段,在渐新世时期 Nd 同位素 $\epsilon_{Nd}(0)$ 值较高,平均为-10 左右,至中新世降为-12~-13,表明在沉积物源演化上 ODP1148 站与珠江口盆地的一致性(图 3)。

珠江口盆地沉积物和 ODP1148 站沉积物在地球化学成分上相关性如何也是判断两者是否存在相同物源的重要依据。从图 4 可以看出,在 32 Ma 以前 ODP1148 站沉积物与珠江口盆地沉积物存在非常良好的相关性,但是随着时间由老变新,两者之间的相关性逐步变差。在 32~23.8 Ma,ODP1148

站沉积物与 PY33-1-1 井沉积物元素地球化学相关性比 32 Ma 以前的要差;到 23.8 Ma 之后,这种情况更为明显,特别是 0~16 Ma 两者之间的相关性表现最差(图 4)。

在对珠江口盆地基底岩石以及下部地层 $\epsilon_{Nd}(0)$ 值分布分析中发现, $\epsilon_{Nd}(0)$ 值与岩石类型直接相关,来自地幔岩浆岩的 $\epsilon_{Nd}(0)$ 值相对较高,如闪长岩基底, $\epsilon_{Nd}(0)$ 值为-5.846113,花岗岩伟晶岩基底的 $\epsilon_{Nd}(0)$ 值为-6.636604,总体显示较高的 $\epsilon_{Nd}(0)$ 值。这些基底岩石之上覆盖的沉积岩地层 $\epsilon_{Nd}(0)$ 值则随时代由老变新逐渐变小,如在渐新世为-7.573229~-10.421423,到中新世降为-11.728654~-11.889213。而处于华南地块西部以及青藏东麓地区花岗岩的 $\epsilon_{Nd}(0)$ 值为-9.9095~-15.9957,绝大多数小于-11^[6,19,20]。

因此,可以看出,南海北部地区在 23.8 Ma 渐新世/中新世界线存在沉积环境以及沉积物源的巨大改变。在渐新世时期 ODP1148 站为近岸坡陡的陆坡环境^[14,15],其北侧的 LW3-1-1 井则为浅水陆架三角洲环境,而在白云凹陷北侧的 PY33-1-1 井则接受了滨岸—陆架沉积环境;到中新世时期 ODP1148 站转为深海远洋沉积环境,和现今环境相差无几^[14,15],LW3-1-1 井则突然转为深水陆坡环境,接受了大量深水低位扇沉积,而在白云凹陷北侧的 PY33-1-1 井则为上陆坡环境。因此,经过 23.8 Ma 的构造运动,南海北部地区发生明显的沉降作用,使陆架坡折带由白云凹陷南侧,迁移至白云凹陷北侧(图 5),使南海北部地区自中新世以来总体呈现海侵趋势,与同期全球海平面变化恰好相反^[13,21]。

伴随这一沉降迁移作用,南海北部沉积物源区也发生明显改变,在渐新世时期 ODP1148 站地区以及珠江口盆地主要以近源的华南沿海地体为主要物源区,当时中生代岛弧岩

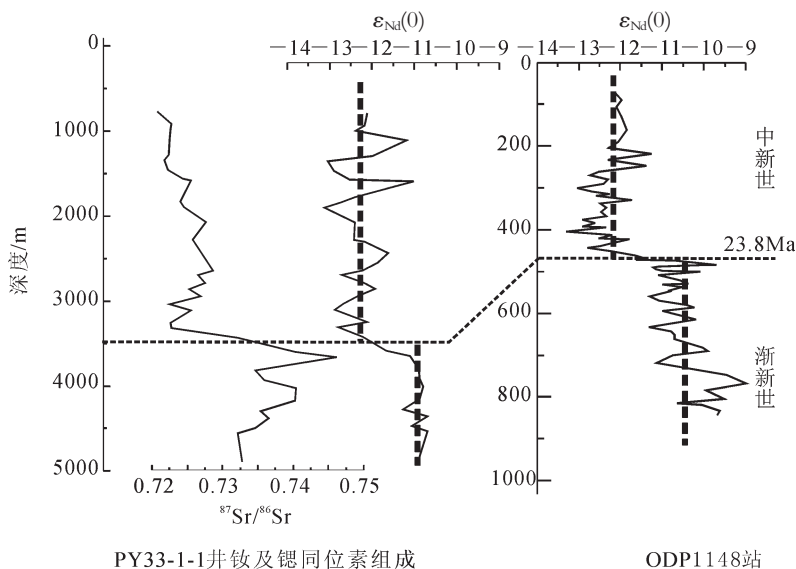


图 3 PY33-1-1 井和 ODP1148 站钕和锶同位素演变特征

Fig.3 Secular Nd and Sr isotope evolution in borehole PY33-1-1 and at the ODP1148 site

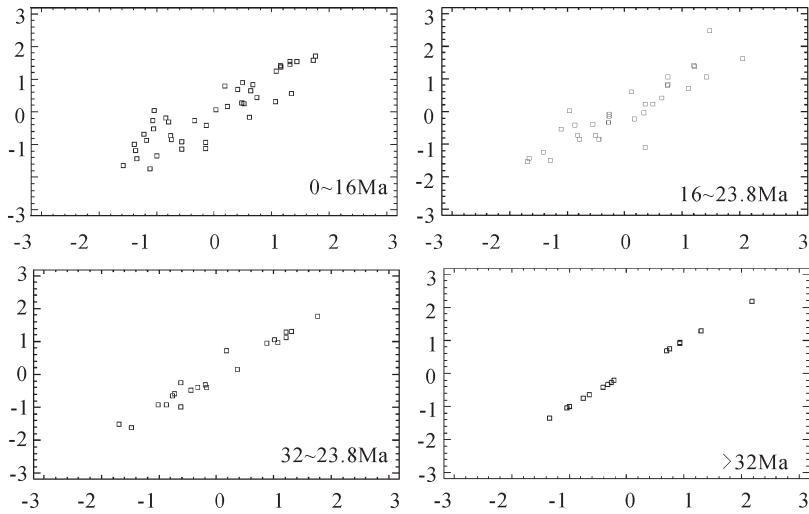


图 4 ODP1148 站与 PY33-1-1 井沉积物元素地球化学相关性分析

Fig.4 Correlation analysis of sediments of site ODP1148 and borehole PY33-1-1

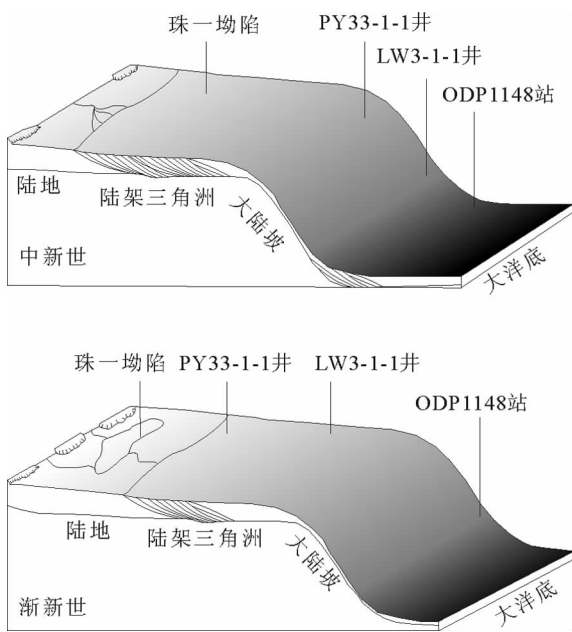


图 5 南海北部渐—中新世沉积环境演变示意图

Fig.5 Schematic map showing the evolution of the Oligocene-Miocene sedimentary environment in the northern South China Sea

体为珠江口盆地以及南海北部提供了大量的沉积物,造成同时期 $\epsilon_{Nd}(0)$ 值较大。由于在盆地形成初期,各构造单元以相邻隆起区为物源区,它们之间的 $\epsilon_{Nd}(0)$ 值略有差异,但是总体成分十分相似,使 ODP1148 站与 PY33-1-1 井沉积物具有极好的相关性。经过渐—中新世的剧烈构造运动,南海北部地

区出现大范围的沉降作用,古珠江河流逆源侵蚀突然加剧,造成沉积物源区供给范围急剧扩大,华南地块古老的沉积岩区成为南海北部地区的主要源区,使 Nd 同位素 $\epsilon_{Nd}(0)$ 值突然发生明显下降。由于沉积环境差异逐步加大,ODP1148 站与 PY33-1-1 井沉积物的相关性随时间也逐步变差。

3 结论

多种资料信息都反映了南海北部在渐新世末(23.8 Ma)发生过一次重大的构造事件,由于这次构造运动造成南海北部地区沉积环境以及沉积物源发生突然改变。沉积物元素地球化学研究发现,ODP1148 站的沉积物以 23.8 Ma 为界明显分为两个大组,并且在整个南海北部地区 Nd 同位素值在渐新世—中新世的界线上均发生了突变,说明当时南海的沉积物源区发生了较大的改变。

同时,南海北部地区的沉积环境在 23.8 Ma 渐新世末也发生巨大改变,主要表现为陆架坡折带向北发生迁移。在渐新世时期 ODP1148 站为近岸坡陡的陆坡环境,位于白云凹陷南侧的 LW3-1-1 井为浅水陆架三角洲环境,而白云凹陷北侧的 PY33-1-1 井则接受了滨海—陆架沉积;到中新世时期 ODP1148 站转为深海洋沉积环境,和现今环境相差无几,LW3-1-1 井则突然转为深水陆坡环境,接受了大量深水低位扇沉积,PY33-1-1 井则为上陆坡环境。正是由于 23.8 Ma 的构造运动,造成陆架坡折带由白云凹陷南侧,迁移至白云凹陷北侧,使南海北部地区在全球总体海退的大背景下发生相反的海侵作用。

证据显示,南海北部地区在渐新世时期主要以近源的华南沿海地体为主要物源区,经过 23.8 Ma 渐新世末剧烈的构造运动,Nd 同位素 $\epsilon_{Nd}(0)$ 值明显下降,并与华南古陆和东喜

马拉雅地区的钐同位素值可以类比,表明 23.8 Ma 以来珠江流域向西拓展^[9]。渐新世时期南海北部主要以近源的华南沿海地体为主要物源区,经过渐新世末剧烈的构造运动,南海北部地区出现大范围的沉降运动,使河流逆源侵蚀加剧,沉积物源区供给范围扩大,华南地块沉积岩区成为南海北部地区的主要源区。

参考文献 (References):

- [1] 姚伯初, 万玲, 吴能友. 大南海地区新生代板块构造活动[J]. 中国地质, 2004, 31(2):113-122.
YaoBochu, Wan Ling, Wu Nengyou. Cenozoic Plate Tectonic Activities in the Great South China Sea Area [J]. Geology in China, 2004, 31(2):113-122(in Chinese with English abstract).
- [2] 万玲, 姚伯初, 曾维军, 等. 南海岩石圈结构与油气资源分布[J]. 中国地质, 2006, 33(4):874-884.
Wan Ling, Yao Bochu, Zeng Weijun, et al. Lithospheric structure and petroleum distribution in the South China Sea [J]. Geology in China, 2006, 33 (4):874-884(in Chinese with English abstract).
- [3] Wang P X, Prell W L, Blum P. et al. Proceedings of the Ocean Drilling Program, Initial Reports South China Sea[M]. Volume 184, College Station TX (Ocean Drilling Program), 2000, 25-38.
- [4] 汪品先, 赵泉鸿, 翦知潜, 等. 南海三千万年的深海记录 [J]. 科学通报, 2003, 48(21):2206-2215.
Wang Pinxian, Zhao Quanhong, Jian Zhimin, et al. The deep sea record in South China Sea since 30 Ma[J]. Chinese Science Bulletin, 2003, 48 (21):2206-2215(in Chinese).
- [5] Li Q, Jian Z, Su X, et al. Late Oligocene rapid transformations in the South China Sea[J]. Marine Micropaleontology, 2005, 54:5-25.
- [6] Cliff P, Lee J I, Clark M, et al. Erosional response of South China to arc rifting and monsoonal strengthening; a record from the South China Sea[J]. Marine Geology, 2002, 184:207-226.
- [7] Li X, Wei G, Shao L, et al. Geochemical and Nd isotopic variations in sediments of the South China Sea: a response to Cenozoic tectonic in SE Asia [J]. Earth and Planetary Science Letters. 2003, 211:207-220.
- [8] 邵磊, 李献华, 汪品先, 等. 南海渐新世以来构造演化的沉积记录——ODP1148 站深海沉积物中的证据 [J]. 地球科学进展, 2004, 19(4):539-544.
Shao Lei, Li Xianhua, Wang Pinxian, et al. Sedimentary record of the tectonic evolution of the South China Sea since the Oligocene—Evidence from deep sea sediments of ODP Site 1148 [J]. Advances in Earth Sciences, 2004, 19 (4):539-544 (in Chinese with English abstract).
- [9] 邵磊, 雷永昌, 庞雄, 等. 珠江口盆地构造演化及对沉积环境的控制作用[J]. 同济大学学报, 2005, 33(9):1177-1181.
Shao Lei, Lei Yongchang, Pang Xiong, et al. Tectonic evolution and its controlling for sedimentary environment in Pearl River Mouth Basin [J]. Journal of Tongji University: Natural Science, 2005, 33(9):1177-1181(in Chinese with English abstract).
- [10] 庞雄, 陈长民, 邵磊, 等. 白云运动: 南海北部渐新统—中新统重大地质事件及其意义[J]. 地质论评, 2007, 53(2):145-151.
Pang Xiong, Chen Changmin, Shao Lei, et al. Baiyun Movement, a great tectonic event on the Oligocene—Miocene Boundary in the northern South China Sea and its implications [J]. Geological Review, 2007, 53(2):145-151(in Chinese with English abstract).
- [11] 庞雄, 陈长民, 吴梦霜, 等. 珠江深水扇与周边重要地质事件[J]. 地球科学进展, 2006, 21(8):7-14.
Pang Xiong, Chen Changmin, Wu Mengshuang, et al. The Pearl River deep water fan systems and significant geological events [J]. Advances in Earth Science, 2006, 21 (8):23-29 (in Chinese with English abstract).
- [12] 吴国璋, 覃军干, 茅绍智. 南海深海相渐新统孢粉记录 [J]. 科学通报, 2003, 48(17):1868-1871.
Wu Guoxuan, Qin Jungan, Mao Shaozhi. Deep-water Oligocene pollen record from South China Sea [J]. Chinese Science Bulletin, 2003, 48(22):2511-2515.
- [13] 陈长民, 施和生, 许仕策, 等. 珠江口盆地(东部)第三系油气藏形成条件[M]. 北京:科学出版社, 2003:1-266.
Chen Changmin, Shi Hesheng, Xu Shice, et al. The Conditions of Hydrocarbon Accumulation of the Tertiary Petroleum System in the Pearl River Mouth Basin [M]. Beijing:Science Press, 2003:1-121(in Chinese with English abstract).
- [14] Wang P et al. Evolution of the South China Sea and monsoon history revealed in deep-sea records [J]. Chinese Science Bulletin, 2003, 48(23):2549-2561.
- [15] Zhao Q. late Cainozoic ostracod faunas and paleoenvironmental changes at ODP site 1148, South China Sea [J]. Marine Micropaleontology, 2005, 54:27-47.
- [16] Rollinson H R. Using Geochemical Data: Evaluation, Presentation, Interpretation[M]. Longman Scientific. Technical, 1993. 352.
- [17] 李前裕, 郑洪波, 钟广法, 等. 南海晚渐新世滑塌沉积指示的地质构造事件[J]. 地球科学—中国地质大学学报, 2005, 30(1):19-24.
Li Qianyu, Zheng Hongbo, Zhong Guangfa, et al. Tectonic events indicated by Late Oligocene slumped deposits from the South China Sea [J]. Earth Science—Journal of China University of Geosciences, 2005, 30 (1):19-24(in Chinese with English abstract).
- [18] Briaux A, Patriat P, Tapponnier P. Updated interpretation of magnetic anomalies and seafloor spreading stages in the South China Sea: Implications for the Tertiary tectonics of Southeast Asia [J]. Journal of Geophysical Research, 1993, 98(B4):6299-6328.
- [19] Catherine Deniel, Philippe Vidal, Angel Fernandez, et al. Isotopic study of the Manaslu granite inferences on the age and source of Himalayan leucogranites [J]. Contributions to Mineralogy and Petrology, 1987, 96:78-92.
- [20] 陈福坤, 李秋立, 王秀丽, 等. 滇西地区腾冲地块东侧混合岩锆石年龄和 Sr-Nd-Hf 同位素组成 [J]. 岩石学报, 2006, 22(2):439-448.
Chen Fukun, Li Qiuli, Wang Xiuli, et al. Zircon age and Sr-Nd-Hf isotopic composition of migmatite in the eastern Tengchong

block, western Yunnan [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2006, 22(2): 439-448(in Chinese with English abstract).

[21] 庞雄, 陈长民, 施和生, 等. 相对海平面变化与南海珠江深水扇系统的响应[J]. *地学前缘*, 2005, 12(3):167-177.

Pang Xiong, Chen Changmin, Shi Hesheng, et al. Response between relative sea level change and the Pearl River deep water fan system in the South China Sea [J]. *Earth Science Frontiers*, 2005, 12(3):167-177(in Chinese with English abstract).

Terminal Oligocene sedimentary environments and abrupt provenance change event in the northern South China Sea

SHAO Lei¹, PANG Xiong², CHEN Chang-min², SHI He-sheng²,
LI Qian-yu¹, QIAO Pei-jun¹

(1. *State key Laboratory of Marine Geology, Tongji University. Shanghai 200092, China;*
2. *CNOOC Ltd. Shenzhen, Guangzhou 510240, Guangdong, China*)

Abstract: A significant change in composition of sediments of the northern South China Sea took place in the terminal Oligocene (23.8 Ma BP), accompanied by an abrupt change in geochemical composition, and meanwhile there occurred a depositional hiatus and olistostromes in abyssal sediments. These sedimentary events coincided in time with the jump of direction of the seafloor spreading axis of the South China from E-W to NE-SW, representing the most important tectonic event in the tectonic evolution of the South China Sea since the Oligocene. Through this tectonic event, the sedimentary environment in the Baiyun subbasin was transformed from the neritic continental shelf in the late Oligocene to the continental slope since the early Miocene and the provenance of sediments in the northern South China changed from mainly proximal areas in the Oligocene to mainly distal areas in the Miocene, and furthermore, the region has generally exhibited the feature of sea transgression since the early Miocene in the area. This abrupt change event has far-reaching influence on the formation of petroleum accumulations in the northern South China Sea.

Key words: South China Sea; Baiyun subbasin; Oligocene; sedimentary environment; provenance analysis

About the first author: SHAO Lei, male, born in 1960, professor, mainly engages in studies of sedimentology and geochemistry; E-Mail: lshao@mail.tongji.edu.cn.