

文章编号:1673-5005(2014)02-0001-09

doi:10.3969/j.issn.1673-5005.2014.02.001

歧口凹陷古近系沙河街组白云岩稀土元素特征及成因

杨 扬¹, 高福红¹, 蒲秀刚²

(1. 吉林大学地球科学学院, 吉林长春 130061; 2. 大港油田勘探开发研究院, 天津 300280)

摘要: 为了揭示歧口凹陷古近系沙河街组白云岩的成因, 对 50 件白云岩样品的稀土元素地球化学特征进行分析研究, 并利用北美页岩(NASC)对分析结果进行标准化处理。结果表明: 白云岩样品的稀土元素表现出轻稀土富集、重稀土亏损的分配模式, 稀土元素 La 异常值和 Y/Ho 具有负相关关系, 稀土元素总量与 Al 含量呈正向同步变化关系而与 Ca 含量呈反向关系, 指示其形成于湖相环境; 同时还具有轻微的 La 正异常和 Ce 负异常, 较高的 Y 正异常和 Y/Ho 比值说明白云岩化流体受到海水的影响; 白云岩样品的 Eu 正异常和较高的包裹体均一温度表明其受到热液的改造作用; 歧口凹陷沙河街组白云岩其形成于湖相环境中, 成岩流体受到海水和热液的影响。

关键词: 古近系; 白云岩; 稀土元素特征; 歧口凹陷

中图分类号: P 581

文献标志码: A

REE characteristics and genesis of dolostones from Paleogene Shahejie Formation in Qikou depression

YANG Yang¹, GAO Fu-hong¹, PU Xiu-gang²

(1. College of Earth Sciences, Jilin University, Changchun 130061, China;

2. Research Institute of Exploration and Development, Dagang Oilfield Company, PetroChina, Tianjin 300280, China)

Abstract: The REE of 50 dolostone samples from Paleogene Shahejie Formation in Qikou depression were analyzed, with the aim of determining the genesis of dolostone in this region. The data were normalized to the standard NASC, and the results demonstrate that most of samples share similar REE distribution patterns with LREE enrichment and HREE depletion. The negative correlation between δLa and Y/Ho, the positive correlation between $w(REE)$ and $w(Al)$ and the negative correlation between $w(REE)$ and $w(Ca)$ imply that the dolostones are deposited in a lacustrine environment. Characteristics of the positive La anomaly, slightly negative Ce anomaly, positive Y anomaly and relatively higher ratio of Y/Ho indicate that the diagenetic fluids of dolomitization are probably influenced by seawater. The positive Eu anomaly and high homogenization temperatures suggest that the dolostones are affected by hydrothermal fluid. The dolostones from Paleogene Shahejie Formation in Qikou depression are the products of lacustrine dolomitization, and the diagenetic fluids are influenced by seawater and hydrothermal fluid.

Key words: Paleogene; dolostone; REE characteristics; Qikou depression

白云岩储层是重要的油气储层之一, 有关白云岩成因及储层形成条件成为石油地质领域的研究热点^[1-2]。前人广泛运用阴极发光、扫描电镜和稳定同位素分析等手段来研究白云岩的成因及其后期成岩演化^[3], 而对白云岩的形成过程中稀土元素的地球化学行为的探讨相对较少。随着研究的深入, 人们逐渐认识到白云岩的稀土元素特征

是成岩流体与原岩碳酸盐沉积物中的稀土元素重新分配、平衡的结果^[4], 因此稀土元素在白云岩中的富集与迁移可为其形成及后期成岩演化提供重要的信息^[5]。渤海湾盆地歧口凹陷古近系沙河街组发育大面积稳定的白云岩, 是油气勘探的新领域。前人对其岩石学、岩相学和稳定碳氧同位素开展了大量研究工作, 但对于其成因未有深入的

收稿日期: 2013-11-17

基金项目: 中国石油重大专项 (2008E-0601)

作者简介: 杨扬 (1987-), 男, 博士研究生, 从事岩石学研究。E-mail: yy_11@mails.jlu.edu.cn。

探讨。因此,笔者依据歧口凹陷古近系沙河街组白云岩的岩石学特征,对扣 14 井、房 29 井和旺 35 井 3 口重点井中白云岩的稀土元素地球化学特征进行分析,确定白云岩化流体的来源,同时探讨热液改造作用存在的客观证据。

1 地质概况

歧口凹陷位于渤海湾盆地黄骅拗陷中北部,总面积约为 3 800 km²,陆地部分面积为 1 100 km²,是黄骅拗陷内最大的继承性生油凹陷。歧口凹陷西起孔店凸起,东至沙垒田凸起,南临埕宁隆起,北至北大港构造带(图 1)。

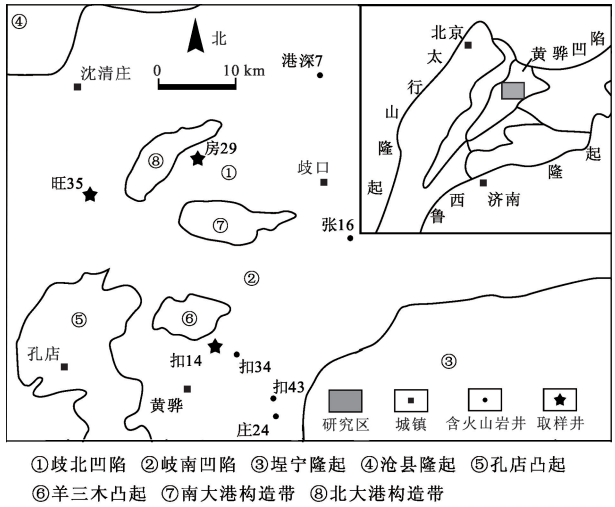


图 1 歧口凹陷井位图

Fig. 1 Well locations in Qikou depression

在黄骅拗陷演化背景下,歧口凹陷经历了始新世的初始断陷期,早渐新世的扩张深陷期,渐新世中期的断陷活动稳定期,晚渐新世断陷活动衰减期和渐新世末的拗陷期。古近系沉积厚度近万米,自下而上包括古近系的孔店组、沙河街组和东营组。其中沙河街组自下而上又被细分为沙三段(E_{s3})、沙二段(E_{s2})、沙一段(E_{s1})。沙三段的岩性主要为砂砾岩、泥质粉砂岩、油页岩和泥岩夹少量白云岩。沙二段的岩石组合为砾岩、泥岩和白云岩。沙一段主要为泥岩、页岩、生物灰岩和白云岩^[6]。

2 岩石学特征

本文按照能反映成因的结构特征将研究区样品分为微晶白云岩和粒屑白云岩 2 类。

微晶白云岩样品所占比例较大,在整个沙河街组中分布广泛,显微镜下白云石晶体以微晶为主,少量粉晶级,晶体多为它形晶。这些特征表明此类白云岩可能形成于成岩作用的早期阶段,结晶速度较快,受后期成岩作用影响较小。微晶白云岩中残余较多原岩的微晶或杂质,显微镜下呈较脏的棕褐色(图 2(a))。在阴极发光显微镜下白云石发橙红色光,残留的方解石发橙黄色光(图 2(b))。此外,少量样品还发育裂隙(图 2(c))。

粒屑白云岩主要分布在沙一段的下部和沙二段,具有残余粒屑结构特征,粒屑以生物碎屑和鲕粒为主(图 2(d)、图 2(e))。生物碎屑大部分交代比

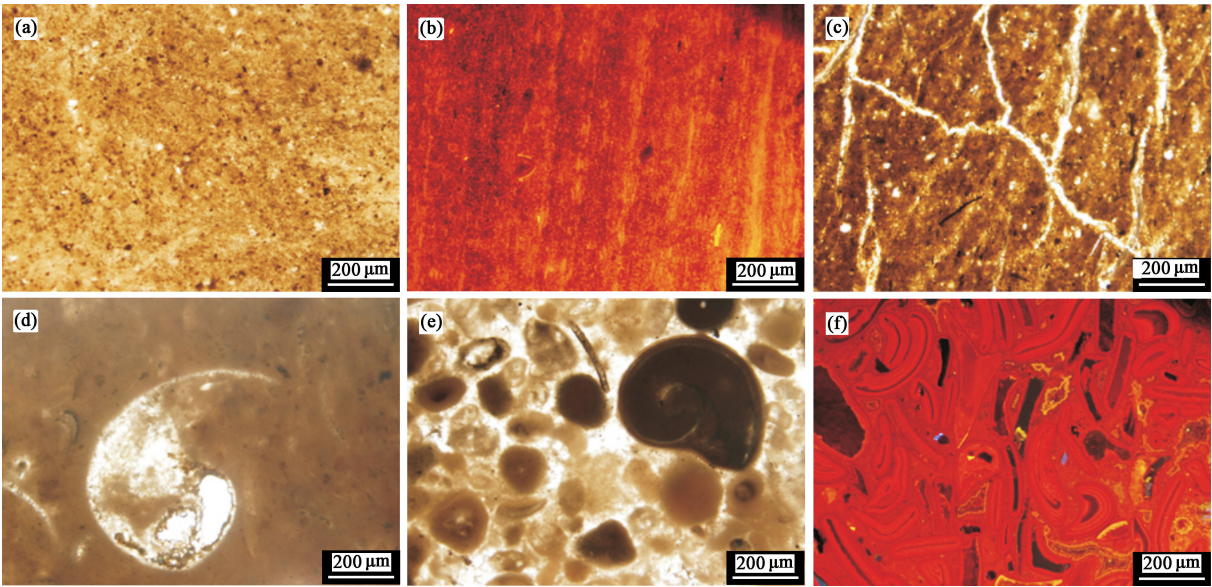


图 2 歧口凹陷沙河街组白云岩显微阴极发光图像

Fig. 2 Cathodoluminescence photomicrographs of dolostones from Shahejie Formation in Qikou depression

较彻底,呈现交代幻影,颗粒边界模糊可辨,部分颗粒形态保存完好。鲕粒发育外圈结构,在阴极发光下为橙黄、橙红色环带(图 2(f))。

3 样品采集及实验方法

本次研究所用的 50 件样品取自歧口凹陷扣 14 井、房 29 井和旺 35 井。在标本和显微镜观察的基础上,挑选无脉的新鲜小块作为分析样品。用玛瑙钵研磨至 75 μm,分别用于主量元素和稀土元素分析。实验结果见表 1~3,样品在单井剖面的位置如图 3 所示。

表 1 歧口凹陷沙河街组白云岩稀土元素分析结果(部分数据)

Table 1 REE characteristics of dolostones from Shahejie Formation in Qikou depression

样号	井深 H/km	层位	岩性	含量/10 ⁻⁶																
				La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Y	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	REE	
k14-1	2.01	沙一段	微晶白云岩	20.80	40.20	4.25	15.90	2.97	0.65	2.72	0.41	2.27	14.10	0.47	1.34	0.21	1.28	0.19	93.66	
k14-6	2.01	沙一段	粒屑白云岩	3.20	6.50	0.66	2.70	0.48	0.16	0.47	0.09	0.43	3.30	0.10	0.31	0.06	0.33	0.05	15.54	
k14-14	2.01	沙一段	微晶白云岩	8.20	16.00	1.61	6.50	1.11	0.28	1.12	0.18	1.01	7.30	0.22	0.65	0.10	0.56	0.08	37.62	
f29-17	2.64	沙二段	微晶白云岩	19.60	37.60	4.09	16.30	2.87	0.73	2.66	0.43	2.30	14.10	0.46	1.35	0.19	1.14	0.17	89.89	
f29-23	2.65	沙二段	粒屑白云岩	20.00	38.70	3.87	15.00	2.64	0.72	2.51	0.40	2.08	13.30	0.43	1.26	0.19	1.14	0.17	89.11	
f29-35	2.65	沙二段	微晶白云岩	13.50	27.20	2.77	10.80	1.92	0.58	1.76	0.28	1.42	8.60	0.28	0.85	0.14	0.78	0.12	62.40	
w35-20	1.78	沙一段	微晶白云岩	7.10	13.70	1.34	4.90	0.91	0.22	0.93	0.12	0.77	5.60	0.16	0.51	0.08	0.54	0.07	31.35	
w35-22	1.78	沙一段	微晶白云岩	7.30	15.80	1.54	5.70	1.06	0.25	1.01	0.14	0.83	5.70	0.17	0.52	0.07	0.53	0.06	34.98	
w35-27	1.79	沙一段	粒屑白云岩	2.70	5.60	0.53	2.00	0.39	0.09	0.37	0.04	0.33	2.90	0.06	0.20	0.03	0.21	0.02	12.57	
w35-33	1.79	沙一段	粒屑白云岩	5.60	11.20	1.09	4.10	0.77	0.16	0.68	0.09	0.53	3.70	0.10	0.32	0.05	0.31	0.03	25.03	
w35-38	1.80	沙三段	微晶白云岩	41.00	80.90	8.07	30.00	5.40	1.20	4.88	0.70	3.82	22.90	0.76	2.22	0.33	2.15	0.31	181.74	
w35-39	1.80	沙三段	微晶白云岩	42.70	85.30	8.71	32.60	5.97	1.34	5.45	0.77	4.36	25.90	0.85	2.45	0.35	2.26	0.33	193.44	
GRF				0.318	0.78	0.088	0.343	0.071	0.017	0.069	0.011	0.068	0.430	0.015	0.042		0.042	0.006	1.87	

表 2 歧口凹陷沙河街组白云岩稀土元素特征参数和主量元素值(部分数据)

Table 2 REE typical index, ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr ratios and major elements of dolostones from Shahejie Formation in Qikou depression

样号	井深 H/km	层位	岩性	δLa	δCe	δEu	δY	(La/ Yb) _N	(Dy/ Sm) _N	(La/ Sm) _N	Y/Ho	La/Yb	Yb/La	Yb/Ca	含量/10 ⁻⁶	
								Al	Ca							
k14-1	2.01	沙一段	微晶白云岩	1.000	0.927	1.031	1.239	1.57	0.75	1.25	30.00	16.25	0.06	0.00000576	17947	222143
k14-6	2.01	沙一段	粒屑白云岩	1.149	0.970	1.412	1.435	0.94	0.88	1.19	33.00	9.70	0.10	0.00000137	3918	240714
k14-14	2.01	沙一段	微晶白云岩	1.178	0.953	1.127	1.402	1.42	0.89	1.32	33.18	14.64	0.07	0.00000312	9741	179286
f29-17	2.64	沙二段	微晶白云岩	1.084	0.911	1.167	1.245	1.67	0.79	1.22	30.65	17.19	0.06	0.00000239	28853	153571
f29-23	2.65	沙二段	粒屑白云岩	1.115	0.951	1.247	1.276	1.70	0.77	1.35	30.93	17.54	0.06	0.00000786	31553	145000
f29-35	2.65	沙二段	微晶白云岩	1.062	0.965	1.399	1.239	1.68	0.73	1.25	30.71	17.31	0.06	0.00000479	23347	162857
w35-20	1.78	沙一段	微晶白云岩	1.047	0.959	1.155	1.447	1.27	0.83	1.39	35.00	13.15	0.08	0.00000262	9000	205714
w35-22	1.78	沙一段	微晶白云岩	0.953	1.023	1.127	1.377	1.33	0.77	1.23	33.53	13.77	0.07	0.00000263	13659	201429
w35-27	1.79	沙一段	粒屑白云岩	1.054	1.013	1.183	1.875	1.25	0.83	1.23	48.33	12.86	0.08	0.00000095	4818	221429
w35-33	1.79	沙一段	粒屑白云岩	1.058	0.980	1.029	1.461	1.75	0.68	1.30	37.00	18.06	0.06	0.00000131	8894	236429
w35-38	1.80	沙三段	微晶白云岩	1.028	0.963	1.068	1.221	1.85	0.70	1.35	30.13	19.07	0.05	0.00002158	71735	99643
w35-39	1.80	沙三段	微晶白云岩	1.002	0.959	1.080	1.223	1.83	0.72	1.27	30.47	18.89	0.05	0.00002309	66441	97857
GRF				0.87	1.07	1.09	1.218	0.559			28.9					

注: (La/Yb)_N 和 (Dy/Sm)_N 均为北美页岩 (NASC) 标准化后的比值。δLa = La_N / (3Pr_N-2Nd_N), δCe = 2Ce_N / (La_N + Pr_N), δEu = Eu_N / (0.67Sm_N + 0.33Tb_N)^[8], δY = 2Y_N / (Dy_N + Ho_N)^[4]。GRF 为美国西部始新世 Green River 组淡水湖相叠层石^[8]。

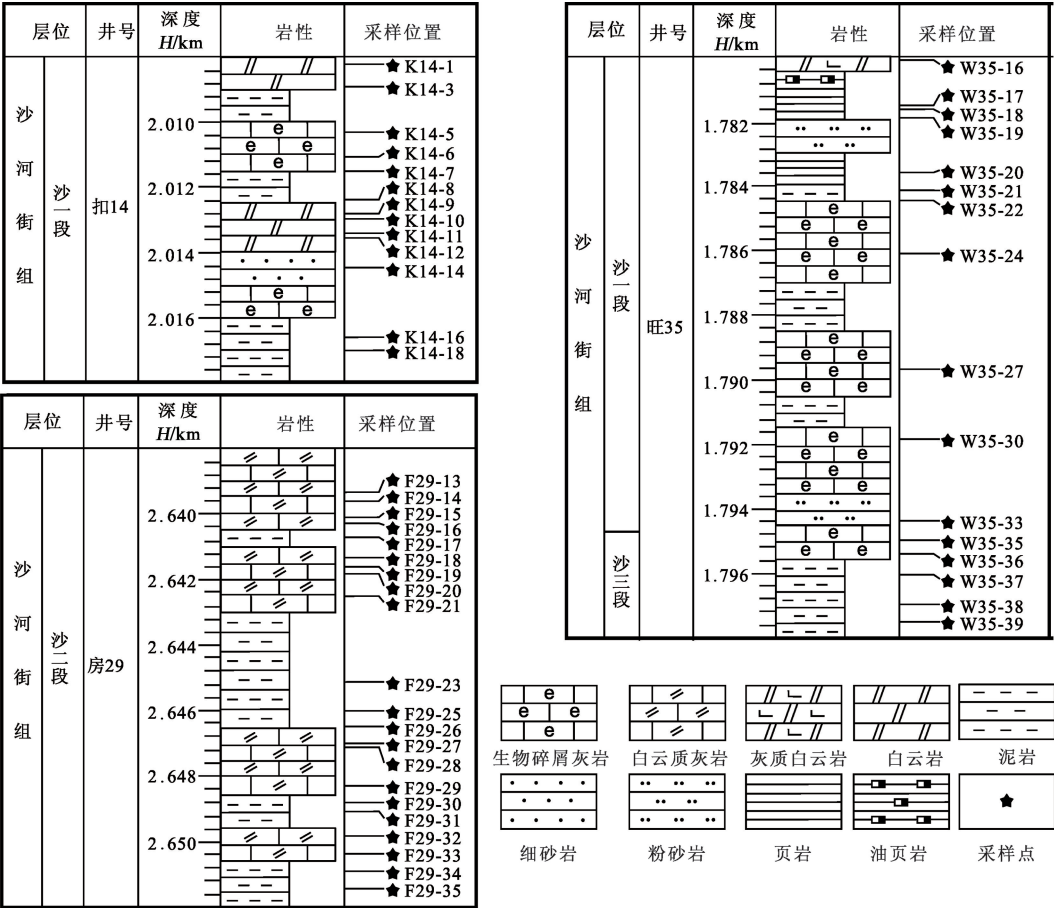


图3 扣14井、房29井和旺35井沉积层序特征及取样位置

Fig.3 Stratigraphic sequences and positions of samples marked of well k14, well f29 and well w35

表3 歧口凹陷沙河街组白云岩包裹体
均一温度(部分数据)

Table 3 Homogenization temperatures of fluid inclusions
in dolostones from Shahejie Formation in
Qikou depression

样号	井深 H/km	层位	岩性	均一温度/℃
14-7	2.01	沙一段	粒屑白云岩	96,98,103,101,91
k14-16	2.02	沙一段	粒屑白云岩	93,95,98,91
f29-23	2.65	沙二段	粒屑白云岩	95,101,103,108
f29-25	2.65	沙二段	粒屑白云岩	138,139,141,143,144
w35-27	1.79	沙一段	粒屑白云岩	105,98,109,96
w35-33	1.79	沙一段	粒屑白云岩	101,105,95,98

4 实验结果

由于Y的离子半径与重稀土元素化学性质相似,将Y元素也作为重稀土元素置于Dy与Ho之间。为了直观表示稀土元素的含量和分馏特征,采用样品测量值与北美页岩标准样品(NASC)中对应元素比值,通过数值法和图解法来反映稀土元素的富集与亏损。50个白云岩样品的REE浓度见表1,稀土元素异常值、稀土元素元素比值及主量元素含

量见表2,包裹体均一温度见表3。
如图4所示,研究区粒屑白云岩的REE含量略低于微晶白云岩,总体形态与微晶白云岩基本相似,二者都表现出总体平缓、微弱右倾的分配模式。50个白云岩样品的稀土元素总量为(12.57~193.44)×10⁻⁶(平均为85.36×10⁻⁶)。δLa为0.953~1.220(平均为1.081),总体表现为La正异常。δCe为0.901~1.073(平均为0.969),总体表现为微弱的负异常。δEu为1.029~1.475(平均为1.164),δY为1.144~1.875(平均为1.291),二者都表现出较强的正异常。白云岩的包裹体均一温度变化较大,为89~143℃(平均为105℃)。

5 讨论

5.1 数据的原始性检验

在碳酸盐岩成岩期后的地质演化过程中,尽管受到各种地质流体的因素的影响其稀土元素特征可能会发生改变,然而自然界的绝大部分流体的稀土元素含量均非常低,一般条件下碳酸盐岩形成后都会一定程度的保留原岩的稀土元素信息。前人的研

究表明成岩作用有可能改变 Ce 的异常值,通常会导致 δCe 与 δEu 具有较好的相关性、 δCe 与 $(\text{Dy}/\text{Sm})_{\text{N}}$ 具较好的负相关性、 δCe 与 $w(\text{REE})$ 具较好的正相关性^[9]。研究区白云岩样品的 δCe 和 δEu 、 δCe

和 $w(\text{REE})$ 均为负相关性(图 5(a),图 5(c)), δCe 与 $(\text{Dy}/\text{Sm})_{\text{N}}$ 具较好的正相关性(图 5(b)),表明成岩作用对 REE 的影响十分有限,白云岩样品的稀土元素数据可以使用。

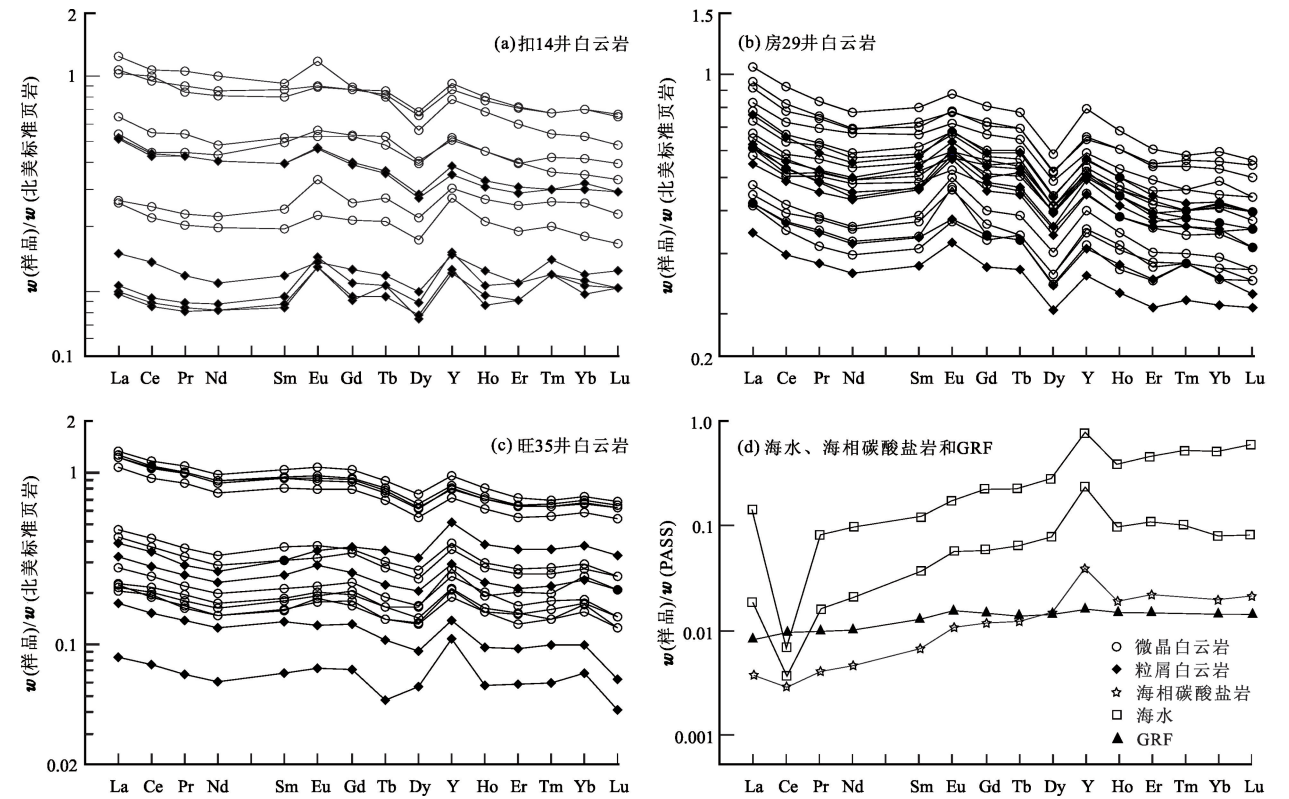


图 4 歧口凹陷沙河街组白云岩的 NASC 标准化稀土元素+Y 分配模式图

Fig. 4 Plots of NASC normalized REE+Y of dolostones from Shahejie Formation in Qikou depression

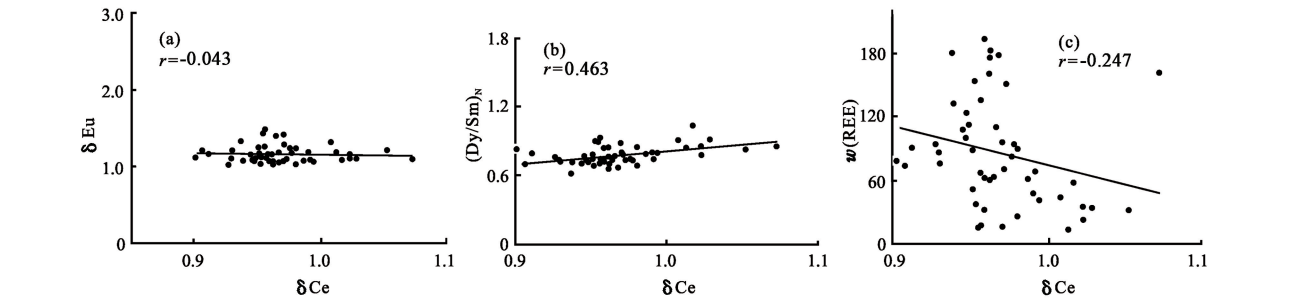


图 5 歧口凹陷沙河街组白云岩 δCe - δEu 、 δCe - $w(\text{REE})$ 、 δCe -($\text{Dy}/\text{Sm})_{\text{N}}$ 相关性

Fig. 5 Correlations of δCe - δEu , δCe - $w(\text{REE})$ and δCe -($\text{Dy}/\text{Sm})_{\text{N}}$ of dolostones from Shahejie Formation in Qikou depression

5.2 白云岩的湖相、海相判定

海水和海相碳酸盐岩的 REE 总体表现出 LREE 亏损, HREE 富集的左倾特征, 并且存在明显的 Ce 负异常、La 正异常、Y 正异常(图 4(d))^[10]。典型湖相碳酸盐岩(GRF)的 REE 分配模式较为平坦, 并且没有明显的元素异常(图 4(d))^[8]。因此, 利用白云岩的 REE 配分模式以及 Ce、La、Y 等元素异常可以用来判断其形成环境。

La 和 Yb 分别是 LREE 和 HREE 的指示性元素, 研究区白云岩样品的 $\text{La}_{\text{N}}/\text{Yb}_{\text{N}}$ 比值为 0.87 ~ 2.35(平均为 1.55), 总体反映出 LREE 相对富集, HREE 相对亏损, 这与海水的稀土配分模式不一致, 但与多数陆源水体、高盐湖泊和酸性淡水湖泊类似^[11]。因此研究区白云岩为非海相成因。

可溶解的 Ce^{3+} 在氧化条件下的海水中会变成较难溶解的、更稳定的 Ce^{4+} 而优先进入沉积物颗粒当

中,从而使海水中具有其明显的负异常特征^[12]。但只有当 $\text{La}_\text{N}/\text{Sm}_\text{N} > 0.35$, 且 $\text{La}_\text{N}/\text{Sm}_\text{N}$ 与 Ce 异常无相关性时, Ce 异常才代表形成时的古水化学条件^[13]。研究区白云岩的 $\text{La}_\text{N}/\text{Sm}_\text{N}$ 为 1.10 ~ 1.39, 均大于 0.35, 且二者几乎没有相关性(图 6(a)), 因此 Ce 异

常可以代表原始的古水化学条件。白云岩的 δCe 为 0.907 ~ 1.073 (平均为 0.969), 大于海相碳酸盐岩的 δCe 值, 而与 GRF 接近, 反映了其可能形成于湖相环境。

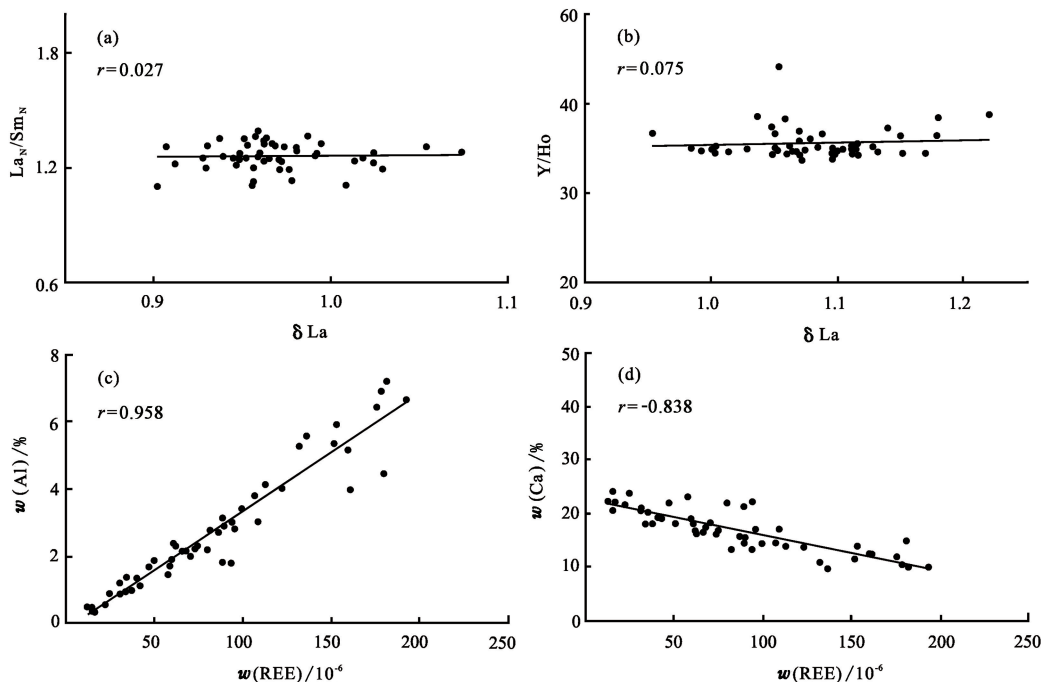


图 6 歧口凹陷沙河街组白云岩的 δCe -(La/Sm)_N、 δLa -Y/Ho、 $w(\text{REE})$ -Al 含量、 $w(\text{REE})$ -Ca 含量相关性

Fig. 6 Correlations of δLa -(La/Sm)_N, δLa -Y/Ho, $w(\text{REE})$ -Al and $w(\text{REE})$ -Ca of dolostones from Shahejie Formation in Qikou depression

前人在 100 个页岩标准化值的基础上, 得出现代海水的 δLa 平均为 2.6, 具有明显的正异常^[14]。研究区的白云岩样品 La 异常值为 0.953 ~ 1.220 (平均为 1.081), 远小于海水的异常值。同时, 白云岩的 δY 为 1.144 ~ 1.875 (平均为 1.291), 与 GRF 的 δY 值相似, 支持了其湖相成因。

湖相碳酸盐岩 δLa 和 Y/Ho 具有负相关关系^[15], $w(\text{REE})$ 与 Al 含量呈正向同步变化关系, 而与 Ca 含量相关度低或者呈反相关关系^[16]。研究区白云岩样品 δLa -Y/Ho 的相关系数为 0.075 (图 6(b)), $w(\text{REE})$ 与 Al 含量相关系数为 0.958 (图 6(c)), 与 Ca 含量相关系数为 -0.838 (图 6(d)), 都符合湖相白云岩的特点。

5.3 海水影响白云岩成岩流体的证据

关于渤海湾盆地古近系时期是否发生过海侵一直为争论的热点。海侵论的支持者在矿物岩石、古生物、古遗迹和地球化学方面提供了诸多证据, 蒲秀刚^[3]和廖静^[17]也利用碳氧同位素分析认为歧口凹陷沙一下段时期可能发生海侵。

尽管歧口凹陷古近系沙河街组的白云岩的 REE 分配模式与 GRF 相似, 反映出湖相成因, 但其元素异常值却与典型湖相碳酸盐岩有一定差异。绝大多数白云岩样品的 δCe 值为负异常, 而 GRF 的 δCe 为轻微正异常; La 表现出轻微正异常, 但 GRF 的 La 却为轻微负异常; 同时研究区白云岩的 δY 值也较高, 大于 GRF 而接近于海水的 δY 值。 δCe 、 δLa 和 δY 都有偏向海相碳酸盐岩稀土元素异常值的特点, 说明白云岩的形成受到了海水的影响。

此外, Y 和 Ho 具有相似的离子半径、化合价及地球化学行为。由于表层络合能力的不同, 使得 Ho 从海水中沉淀的速率要高于 Y, 因而 Y/Ho 值可以成为区别海相和非海相沉积环境的有用指标。研究表明: 现代海水的 Y/Ho 比值为 44 ~ 74^[18], 而平均上部地壳的 Y/Ho 比值为 27.5^[19]。与之相比, 研究区白云岩样品的 Y/Ho 比值为 27.62 ~ 48.33 (平均为 31.40), 高于地壳、页岩以及 GRF 的 Y/Ho 比值。沙一段部分样品的 Y/Ho 平均比值甚至达到了 35.48, 明显受到海水的影响。

5.4 热液对白云岩影响的证据

前人的研究表明,歧口凹陷广泛发育新生代火山岩^[20]。新生代强烈的火山活动和潜在的同生断层热液通道可能使歧口凹陷白云岩受到一定的热液影响。丁巍伟^[21]认为沙河街组储层中包裹体中烷烃气的成熟度与地热活动相关,于志超^[22]从沙河街组储层的岩石学特征、镜质体反射率、最大热解温度和黏土矿物转变等方面确定了热液流体存在的客观证据。

不同的热液流体间具有非常类似的 REE 配分模式,即 LREE 富集和正 Eu 异常。Michard 等^[23]对东太平洋洋底高地高温热液流体研究表明,在

350℃ 条件下海水与洋底岩石的水-岩反应具有高的 LREE 富集和明显的 Eu 正异常。研究区白云岩样品的 REE 分配模式为微弱的右倾模式,与青藏高原渐新世-中新世湖相热液改造碳酸盐岩^[16]和塔里木盆地早古生代热液成因白云石^[4]相类似(图 7(a))。一些受热液影响的海相碳酸盐岩尽管表现出轻稀土亏损的分配模式,但无一例外都具有明显的 Eu 的正异常(图 7(b))。研究区全部白云岩样品都表现出 Eu 正异常,δEu 为 1.029 ~ 1.475(平均为 1.164),房 29 和扣 14 井的样品 Eu 正异常更为明显,平均值达到 1.20,表明白云岩受到热液流体的作用。

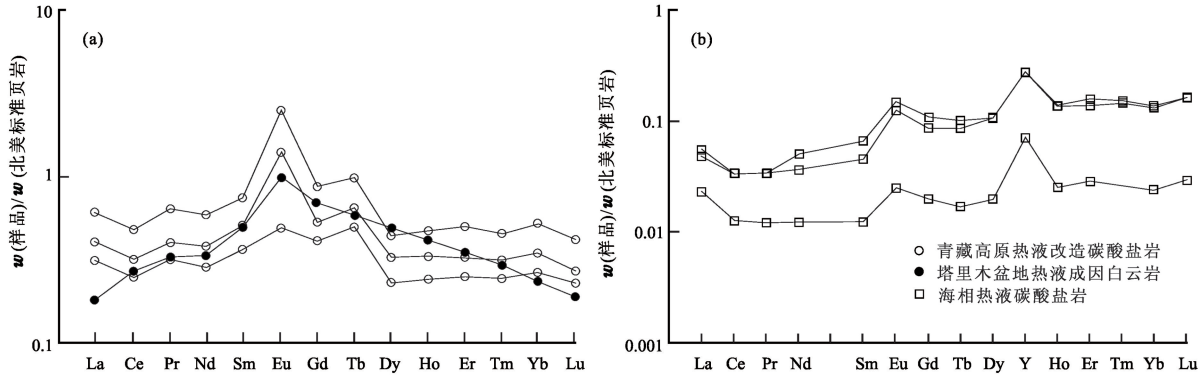


图 7 热液改造型碳酸盐岩的稀土元素分配模式图

Fig.7 REE distribution patterns of hydrothermal dolostones

REE-La/Yb 图解能很好的判别流体来源^[24]。研究区大部分白云岩样品都落在沉积岩范围内,少量落在沉积岩和火山岩交汇区域(图 8(a))。同时利用 Yb/Ca-Yb/La 图^[24]也可以判断碳酸盐岩的形

成和演化,由图 8(b)可见,白云岩样品大多数分布在热液成因范围内,这些也是热液影响白云岩的重要证据。

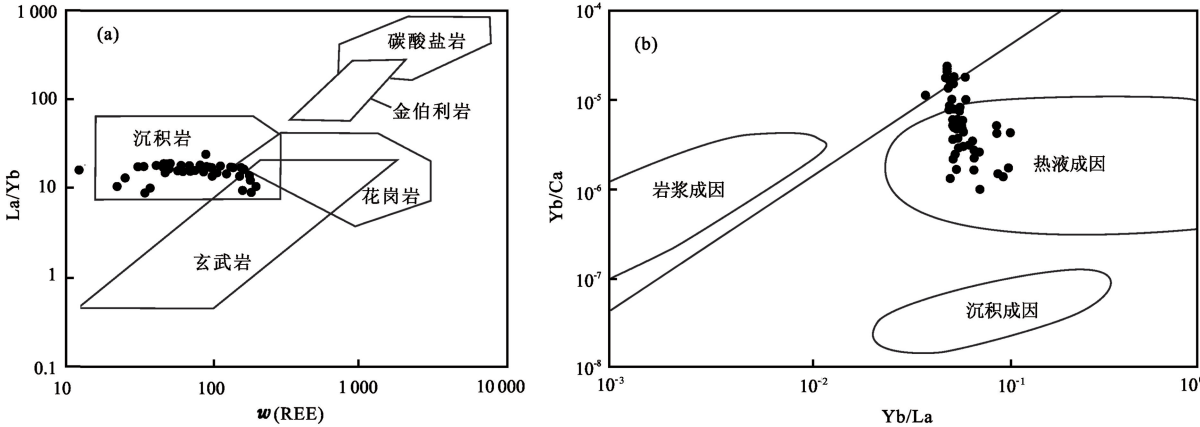


图 8 歧口凹陷沙河街组白云岩 La/Yb-w (REE) 和 Yb/Ca-Yb/La 图解

Fig.8 Diagrams of La/Yb-w (REE) and Yb/Ca-Yb/La of dolostones from Shahejie Formation in Qikou depression

流体包裹体保存了流体被捕获时期的组成、性质和物理化学参数等油气藏形成的多种信息,通过测定碳酸盐岩包裹体均一温度可以计算其捕获时的

温度,进而确定碳酸盐岩形成时的温度。由歧口凹陷古近系平均地热梯度 0.034℃/m^[25]计算出取样位置的古地温为 61 ~ 90℃,而研究区白云岩包裹体

的均一温度为 89 ~ 143 ℃,明显高于正常沉积时的古地温,说明该地区在古近系时期发生过热流体活动(图 9)。

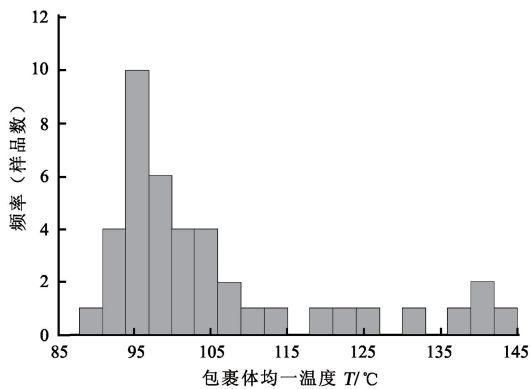


图 9 歧口凹陷沙河街组白云岩包裹体均一温度

Fig. 9 Histograms of homogenization temperatures of fluid inclusions in dolostones from Shahejie Formation in Qikou depression

6 结 论

(1) 歧口凹陷古近系沙河街组白云岩表现出轻稀土富集,重稀土亏损的分配模式。 La 的异常值与 Y/Ho 呈负相关关系、稀土元素含量与 Al 含量呈正向同步变化关系而与 Ca 含量呈反向关系,表明其形成于陆相湖泊沉积环境。

(2) 歧口凹陷古近系沙河街组白云岩具有 La 正异常、 Ce 负异常、较高的 Y 正异常和 Y/Ho 比,成岩流体受到海水的影响。

(3) 歧口凹陷古近系沙河街组白云岩具有 Eu 的正异常和较高的包裹体均一温度,受到热液流体的影响。

参考文献:

- [1] 牛永斌,钟建华,王培俊,等. 成岩作用对塔河油田二区奥陶系碳酸盐岩储集空间发育的影响[J]. 中国石油大学学报:自然科学版,2010,34(6):13-19.
NIU Yong-bin, ZHONG Jian-hua, WANG Pei-jun, et al. Effect of diagenesis on accumulate capability of Ordovician carbonate rock in block 2 of Tahe Oilfield[J]. Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science), 2010, 34(6): 13-19.
- [2] 吴欣松,魏建新,昌建波,等. 碳酸盐岩古岩溶储层预测的难点与对策[J]. 中国石油大学学报:自然科学版,2009,33(6):16-21.
WU Xin-song, WEI Jian-xin, CHANG Jian-bo, et al. Difficulty and countermeasures in carbonate paleokarst reservoir prediction[J]. Journal of China University of

Petroleum (Edition of Natural Science), 2009, 33(6): 16-21.

- [3] 蒲秀刚,周立宏,肖敦清,等. 黄骅拗陷歧口凹陷西南缘湖相碳酸盐岩地质特征[J]. 石油勘探与开发, 2011, 38(2): 136-144.
PU Xiu-gang, ZHOU Li-hong, XIAO Dun-qing, et al. Lacustrine carbonates in the southwest margin of Qikou sag, Huanghua depression, Bohai Bay Basin[J]. Petroleum Exploration and Development, 2011, 38(2): 136-144.
- [4] 韩银学,李忠,韩登林,等. 塔里木盆地塔北东部下奥陶统基质白云岩的稀土元素特征及其成因[J]. 岩石学报, 2009, 25(10): 2405-2416.
HAN Yin-xue, LI Zhong, HAN Deng-lin, et al. REE characteristics of matrix dolomites and its origin of Lower Ordovician in eastern Tabei area, Tarim Basin[J]. Acta Petrologica Sinica, 2009, 25(10): 2405-2416.
- [5] BANNER J L, HANSON G N, MEYERS W J. Rare earth element and Nd isotopic variations in regionally extensive dolomites from the Burlington-Keokuk formation (Mississippian): implications for REE mobility during carbonate diagenesis[J]. Journal of Sedimentary Petrology, 1988, 58(3): 415-432.
- [6] 李绍光,吴涛,方文娟,等. 中国石油地质志(卷四,大港油田)[M]. 北京:石油工业出版社,1991:74-113.
- [7] 刘颖,刘海臣,李献华. 用 ICP-MS 准确测定岩石样品中的 40 余种微量元素[J]. 地球化学, 1996, 25(6): 552-558.
LIU Ying, LIU Hai-chen, LI Xian-hua. Simultaneous and precise determination of 40 trace elements in rock samples using ICP-MS[J]. Geochimica, 1996, 25(6): 552-558.
- [8] BOLHAR R, VAN KRANENDONK M J. A non-marine depositional setting for the Northern Fortescue Group, Pilbara Craton, inferred from trace element geochemistry of stromatolitic carbonates [J]. Precambrian Research, 2007, 155: 229-250.
- [9] SHIELDS G, STILLE P. Diagenetic constraints on the use of cerium anomalies as Paleo seawater redox proxies: an isotopic and REE study of Cambrian phosphorites [J]. Chemical Geology, 2001, 175(1/2): 29-48.
- [10] VANKRANENDONK M J, WEBB G E, KAMBER B S. Geological and trace element evidence for a marine sedimentary environment of deposition and biogenicity of 3.45 Ga stromatolitic carbonates in the Pilbara Craton, and support for a reducing Archaean ocean[J]. Geobiology, 2003, 1(2): 91-108.
- [11] BELLANCA A, MASETTI D, NERI R. Rare earth elements in limestone/marlstone couples from the Albian-

- Conomanian Cismon Section (Venetian region, northern Italy): assessing REE sensitivity to environmental changes[J]. *Chemical Geology*,1997,141(3-4):141-152.
- [12] FRIMMEL H E. Trace element distribution in Neoproterozoic carbonates as palaeoenvironmental indicator[J]. *Chemical Geology*,2009,258(3-4):338-353.
- [13] SHOLKOVITZ E R, LANDING W M, LEWIS B L. Ocean particle chemistry-the fractionation of rare earth elements between suspended particles and seawater[J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*,1994,58(6):1567-1579.
- [14] LAWRENCE M G, GREIG A, COLLERSON K D, et al. Rare earth element and yttrium variability in south east Queensland waterways[J]. *Aquatic Geochemistry*,2006,12(1):39-72.
- [15] BOLHAR R, KAMBER B S, MOORBATH S, et al. Characterization of Early Archaean chemical sediments by trace element signatures[J]. *Earth and Planetary Science Letters*,2004,222(1):43-60.
- [16] 伊海生,林金辉,赵西西,等. 青藏高原沱沱河盆地渐新世—中新世湖相碳酸盐岩稀土元素地球化学特征与正铈异常成因初探[J]. *沉积学报*,2008,26(1):1-10.
- YI Hai-sheng, LIN Jin-hui, ZHAO Xi-xi, et al. Geochemistry of rare earth elements and origin of positive europium anomaly in Miocene-Oligocene lacustrine carbonates from Tuotuohe Basin of Tibetan plateau[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*,2008,26(1):1-10.
- [17] 廖静,董兆雄,翟桂云,等. 渤海湾盆地歧口凹陷沙河几组一段下亚段湖相白云岩及其与海相白云岩的差异[J]. *海相油气地质*,2008,13(1):18-24.
- LIAO Jing, DONG Zhao-xiong, ZHAI Gui-yun, et al. Feature of oligocene Shahejie Lower-1st member lacustrine dolostone in Qikou depression, Bohaiwan Basin, and difference of it from marine dolostone[J]. *Marine Origin Petroleum Geology*,2008,13(1):18-24.
- [18] BAN M, DULSKI P. Distribution of yttrium and rare-earth elements in the Penge and Kuruman iron-formations, Transvaal supergroup, south Africa[J]. *Precambrian Research*,1996,79(1/2):37-55.
- [19] TAYLOR S R, MCLENNAN S M, ARMSTRONG R L, et al. The composition and evolution of the continental crust: rare earth element evidence from sedimentary rocks[J]. *Philosophical Transactions of the Royal Society London A*,1981,301:381-399.
- [20] 高知云. 黄骅坳陷第三系隐伏火山岩及其形成的大地构造环境初探[J]. *岩石学报*,1986,2(4):14-15.
- GAO Zhi-yun. The tertiary blind volcanic rocks in Huanghua depression and their bearing on tectonic setting[J]. *Acta Petrologica Sinica*,1986,2(4):14-15.
- [21] 丁巍伟,戴金星,初凤友,等. 黄骅坳陷港西断裂带流体包裹体的地球化学特征[J]. *岩石学报*,2007,23(9):2287-2295.
- DING Wei-wei, DAI Jin-xing, CHU Feng-you, et al. Geochemical characteristics of the fluid inclusions in the Gangxi fault belt Huanghua depression, Bohai Bay Basin, China[J]. *Acta Petrologica Sinica*,2007,23(9):2287-2295.
- [22] 于志超. 歧口凹陷古近纪热流体活动及其对碎屑岩储层的影响[D]. 长春:吉林大学地球科学学院,2010.
- YU Zhi-chao. The Paleogene thermal fluid activities and their impact on elastic reservoir in Qikou sag[D]. Changchun: College of Earth Sciences, Jilin University, 2010.
- [23] MICHARD A, ALBAREDE F. The REE content of some hydrothermal fluids[J]. *Chemical Geology*,1986,55(1/2):51-60.
- [24] MOLLER P, MORTEANI G, SCHLEY F. Discussion of REE distribution patterns of carbonatites and alkalic rocks[J]. *Lithos*,1980,13(2):171-179.
- [25] 田克勤,于志海,冯明,等. 渤海湾盆地第三系深层油气地质与勘探[M]. 北京:石油工业出版社,2000:121.

(编辑 徐会永)