黄骅坳陷歧口凹陷沙一下亚段湖相白云岩形成环境

陈世悦1),李聪^{2,3)},杨勇强¹⁾,肖敦清⁴⁾,蒲秀刚⁴⁾,黄鹏⁵⁾

 1)中国石油大学(华东)地球资源与信息学院,山东青岛,266555;
 2)中国科学院地质与地球物理研究所, 北京,100029;
 3)中石化中原油田勘探开发科学研究院,河南濮阳,457001;
 4)中国石油大港油田 公司勘探开发研究院,天津,300280;
 5)中国石化集团西北油田分公司,乌鲁木齐,830011

内容提要:歧口凹陷沙一下亚段白云岩发育在整体湖扩背景下,通过对研究区白云岩镜下鉴定、扫描电镜分析、地球化学分析测试,发现了海绿石、胶磷矿和颗石藻等海相指相性化石,Sr/Ba比值、V/Ni比值及Th/U比值均指示海相环境特征,⁸⁷Sr/⁸⁶Sr比值也表明湖盆受到过同期海水作用,证实了海侵作用是歧口凹陷沙一下亚段湖盆 咸化的主要影响因素。海侵不仅为近海湖盆白云岩的形成提供了部分Mg²⁺,更重要的是改变了湖盆水体性质,促 进了白云岩化作用。结合研究区古地貌的"洼一隆"相间特征以及碳氧同位素呈线性条带分布表现出的非常好的 相关性,表明研究区沙一下亚段时期湖盆水体循环较差,封闭性很好,从而使得海侵导致的湖盆咸化环境得以保 持,形成了白云岩有利的发育环境。

关键词:歧口凹陷;湖相白云岩;海侵;沙一下亚段

湖相白云岩在我国济阳坳陷(东营、惠民凹陷) 古近系沙河街组、泌阳凹陷古近系核桃园组、准格尔 盆地南缘二叠系、柴达木尕斯库勒古近系以及辽东 湾沙河街组地层中均有产出。其形成条件及物质来 源有3种比较有代表性的观点:第一,海水入侵提供 物质(Mg²⁺)和环境(田景春等,1998),东营凹陷古 近系沙河街组白云岩的产出层位与海侵期次具有明 显的对应关系,海侵为白云石形成提供了物质条件、 介质条件等;后来认为海侵作用、古气候条件和火山 活动均为惠民凹陷沙一下亚段白云岩的形成创造了 条件(孙钰等,2007)。第二,湖盆自身水体性质和气 候、生物作用的匹配关系,泌阳凹陷古近系核桃园组 的白云岩以蒸发成因为主(黄杏珍等,2001);柴达木 盆地尕斯库勒古近系白云岩也主要是蒸发成因(蔡 毅等,2005)。第三,火山作用的影响,辽东湾盆地古 近系沙河街组产于深凹陷内的一套深湖相白云岩, 产出位置明显受区域内辽中凹陷西界的北北东向基 底断裂控制(戴朝成等,2008)。歧口凹陷沙一下亚 段白云岩大量发育,而研究区沙一下亚段为湖盆扩 张期,蒸发作用对白云岩的形成作用相对有限,而对 白云岩形成至关重要的物质来源(Mg²⁺)及湖盆咸 化成因有待进一步明确,本文主要从古地貌特征、湖 盆水体封闭与开放性及咸化物质主要来源几个方面 来探讨白云岩的发育环境。

1 研究区概况

歧口凹陷位于黄骅坳陷的中部地区。其西侧为 沧县隆起,东南为埕宁隆起,总体为北北东一北东向 走向,自新生代以来,歧口凹陷相继形成了沧东一南 皮、歧南凹陷、歧北凹陷、板桥凹陷、沧东凹陷以及歧 口深凹等负向构造单元,此外还形成了分隔这些负 向单元的一些重要潜山构造带,如南大港潜山构造 带、北大港潜山构造带和沈青庄潜山构造带、孔店潜 山构造带等(图1)。研究目的层沙一下亚段自下而 上可细分为滨 I、板 4、板 3 和板 2 共 4 个油层组 (图 2)。前人认为该区沙一下亚段的碳酸盐岩主要 为石灰岩,且认为泥晶灰岩是较差的储层(金振奎 等,2002)。后来随着勘探的深入,才逐渐认识到白 云岩在研究区沙一下亚段是普遍发育的。其中,滨 I油组湖盆水体较浅,主要发育生屑灰岩、鲕粒灰岩 等颗粒灰岩,晚期有少量白云岩分布;板4油组时期 白云岩呈薄层状夹干大套灰色、深灰色泥岩中,该油

收稿日期:2011-04-22;改回日期:2011-11-28;责任编辑:刘恋。

注:本文为中国石油天然气股份有限公司项目(编号 07-01C-01-04)资助的成果。

作者简介:陈世悦,男,1963年生。中国石油大学(华东)博士生导师,教授,主要从事沉积学及岩相古地理研究工作。Email:chenshiyue@vip.sina.com。通讯作者:李聪,男,1983年生。在站博士后,主要从事沉积储层方面的研究工作。Email:licong@upc.edu.cn。





图 1 黄骅坳陷歧口凹陷地理位置及构造简图 Fig. 1 The geographic location and tectonic unit dividing of Qikou Sag, Huanghua Depression

组白云岩叠合厚度较大;板2、板3油组白云岩发育 较局限,且含灰质成分较高。

2 白云岩岩石学特征

结合研究区实际情况,对白云岩的分类主要考 虑其成分和结晶程度两方面特征:按成分可分为白 云岩与碎屑岩的混杂类型(泥质白云岩和砂质白云 岩)和白云岩与灰岩的过渡类型(灰质白云岩或白云 质灰岩);按结晶程度可将研究区白云岩划分为微晶 白云岩和泥晶白云岩两类。泥晶白云岩是指白云岩 的晶体粒度范围介于隐晶质(偏光显微镜无法识别) 到微晶(单个晶体颗粒可以被偏光显微镜识别)之间 (图 3a),主要发育于滨 [和板 4 油组的歧口和埕海 地区。微晶白云岩在偏光显微镜下可见晶粒大小约 2~5µm。形状呈他形一半自形,且以他形为主(图 3b),主要发育于板4油组的齐家务、六间房一周清 庄一王徐庄一带,滨 [油组的齐家务和六间房地区 也有小范围分布。泥质云岩主要为薄层条带状暗色 泥岩与浅灰白色白云岩呈微波状互层(图 3c)。主 要发育于板 4 油组的孔店凸起东西两侧和板 3 油组 的王徐庄地区。砂质白云岩在镜下表现明显(图 3d),砂质成分以粉砂级石英、长石颗粒为主。X射 线衍射分析也显示该区白云岩石英含量较高,长石 以钾长石为主,这类白云岩主要分布在赵家堡地区 的滨 I 和板 3 油组下部。灰质云岩为白云岩与灰岩 的过渡岩类,白云岩和灰岩成分间界线分明(图 3e)。白云岩晶粒较灰岩明显粗大,具明显的重结晶 现象,而与之共生的泥晶灰岩部分未见有明显的重 结晶现象。

3 白云岩形成环境

3.1 咸化物质来源

通过对研究区白云岩的岩心及镜下观察,主、微量元素测试,碳、氧、锶等稳定同位素分析,以及指相性化石的鉴定,证实了海侵作用是歧口凹陷沙一下 亚段湖盆咸化的主要影响因素。海侵不仅为近海湖 盆白云岩的形成提供了部分 Mg²⁺,更重要的是改 变了湖盆水体性质,促进了白云岩化作用。

3.1.1 微量元素特征

一般来说,河、湖相淡水沉积物的 Sr/Ba<1, V/Ni<1,海相沉积物 Sr/Ba>1,V/Ni>1。U 的丰 度在海相沉积物中高于陆相沉积物,而 Th 则相反。 据此可利用 w(Th)/w(U)比值来作为判断海陆相 的一个标志。一般来说,海相黑色页岩、石灰岩的蒸 发岩中的 w(Th)/w(U)比值最低(<2);海相灰绿 色页岩中 w(Th)/w(U)比值中等(2<6);陆相页岩 中 w(Th)/w(U)比值最高(>6)(任来义等,2002)。

研究区沉积物微量元素测试结果如表 1 所示, 计算结果表明白云岩 Sr/Ba 比值分布范围 1.13~ 4.21,平均值为 2.33;V/Ni 比值分布范围在 1.20~ 7.13,平均值为 3.17。灰岩 Sr/Ba 比值分布在 0.8 ~4.95,平均值为 2.36;V/Ni 比值分布范围在 1.71 ~5.09,平均值为 2.75。泥岩 Sr/Ba 比值分布范围 0.84~2.81,平均值为 1.57,V/Ni 比值分布在 0.54 ~2.51,平均值为 1.66。研究区泥岩 Th/U 比值介 于 2~3,生屑灰岩 Th/U 比值介于 1~1.5,均与海 相环境中同类岩性的 Th/U 比值相当。

3.1.2 锶同位素特征

沉积环境中的⁸⁷ Sr/⁸⁶ Sr 比值变化主要是由于不同来源 Sr 的混合造成的。壳源的硅铝质岩石具高的⁸⁷ Sr/⁸⁶ Sr 值,平均为 0.720;幔源的镁铁质岩石平均为 0.704;古近纪海水⁸⁷ Sr/⁸⁶ Sr 约为 0.7076~0.7099(张惠良等,1995;向芳等,2001;史忠生等,2003;袁文芳等,2006)。歧口凹陷沙一下亚段碳酸盐岩中的⁸⁷ Sr/⁸⁶ Sr 比值分布区间为 0.70953~0.71095(表 2)。比值接近又略高于同期海水 ⁸⁷ Sr/⁸⁶ Sr 比值的原因是其锶来源受同期海水和陆源 硅铝质岩石的共同控制。

地 层			0100			200		- 400	厚度		
组	段	油组		深度	岩性	-5	电阻(RA25)	- 28	(m)	岩性描述	
		板2			- - - - - - - - -		In WWW		5~40	以泥页岩组合为主, 夹薄层白云岩、 白云质灰岩 油页岩: 灰褐色、	
沙	과	板3	K				MMM		5~40	页理发育, 泥岩含钙质	
河 街 组	沙 一 下 亚 段	板4	M. M. M.	<u>25m</u>			M M M M M M M M M M M M M M M M M M M		10~60	以白云岩、 白云质灰岩、 灰质白云岩为主	
		滨1		<u>75</u> m					5~40	滨1油组水体较浅, 水动力相对强, 以沉积生物灰岩、 生物碎屑鲕灰岩 等为主	

图 2 黄骅坳陷歧口凹陷沙一下亚段综合柱状图 Fig. 2 Composite columnar section of Sha-1 lower sub member in Qikou Sag, Huanghua Depression

3.1.3 指相性化石特征

通过对研究区白云岩镜下鉴定、扫描电镜分析 发现,沙一下亚段沉积物中发育有海绿石、胶磷矿及 钙质超微化石等海相性化石(图 4)。海绿石的成矿 环境需要具备高含盐度,20~2000m 左右的水深, 不低于 15℃的水温以及偏碱性的弱还原环境等(张 乃娴,1981;陈丽蓉等,1982;王云飞,1983;袁文芳 等,2006)。胶磷矿形态上多保存了动物骨骼的细微 构造,部分呈现鲕状和碎屑状。胶磷矿是一种潮下 浅海指相矿物(吴贤涛等,2004)。钙质超微化石通 常产于正常海洋的沉积物里,只有较特殊的钙质超 微化石偶见于海陆过渡相地层,因而一般作为海相 环境的标志(郝冶纯等,1984;宋一涛等,1995;侯奎 等,1999,2001;钟石兰等,2001),颗石藻与泥岩呈纹 层状互层的形式出现是海水间歇性影响的标志(赵 澄林等,2002)。

笔者研究认为正是由于海水的侵入使湖水盐度 增高,再加之适宜的湖盆水深和水温,提供了有利于 海绿石生成的环境;胶磷矿是生物遗体中的磷质经 风化作用,遭受海水影响,经海解作用而形成;研究 区板4和滨I颗石藻大量发育,也是海侵作用改变 了湖盆的水体性质,形成了有利于钙质超微化石(颗 石藻)发育的环境。

表	1	黄骅坳陷歧口凹陷沙一下亚段沉积岩微量元素分析结果表(×10	$)^{-6}$
2	-		, ,

Table 1 The result of sedimentary rocks minor element of Sha-1 lower sub member in Qikou Sag, Huanghua Depression(×10⁻⁶)

井号	岩性	层位	V	Ni	V/Ni	Sr	Ba	Sr/Br	Th	U	Th/U
旺 31	云质泥岩	板 2	30	14.66	2.05	941.6	661.7	1.42	9.63	3.46	2.78
军 8	泥岩		54	100.10	0.54	2343	1287	1.82	7.28	3.03	2.40
滨 22	泥岩	板 3	83	58.22	1.43	707.1	829.4	0.85	9.33	3.03	3.08
房 29	云质灰岩		122	30.30	4.03	954	623	1.53	3.48	2.01	1.73
旺 38	白云岩		87.9	21.30	4.13	1738	692	2.51	2.09	0.991	2.11
旺 38	泥岩		110	69.00	1.59	1039	786	1.32	7.76	3.15	2.46
旺 38	云质灰岩		37.1	7.29	5.09	1190	835	1.43	8.36	3.61	2.32
房 10	白云岩		51.3	7.20	7.13	1395	593	2.35	0.695	0.547	1.27
房 10	灰质云岩		92.3	33.60	2.75	1315	665	1.98	1.1	0.591	1.86
滨 22	白云岩	板 4	12	9.45	1.27	1617	1157	1.40	1.79	0.609	2.94
埕 54×1	白云岩		14	11.66	1.20	1318	1167	1.13	1.02	0.787	1.30
埕 54×1	泥质云岩		54	40.86	1.32	765.8	350.9	2.18	1.47	1.63	0.90
埕 54×1	泥岩		65	35.66	1.82	910	638.1	1.43	2.48	1.47	1.69
房 10	泥岩		48	31.47	1.53	2978	1059	2.81	2.36	0.885	2.67
房 29	泥岩		73	40.27	1.81	904.7	773.7	1.17	1.239	0.448	2.77
旺 38	泥岩		82	38.00	2.16	1632	1072	1.52	2.04	0.707	2.89
扣 42	灰质泥岩		75.3	17.70	4.25	1825	730	2.50	1.843	0.62	2.97
扣 42	鲕灰岩		13.8	3.82	3.61	2824	570	4.95	5.492	1.602	3.43
扣 42	白云岩		31.6	6.05	5.22	1628	574	2.84	2.036	0.608	3.35
扣 42	白云岩		16.5	5.24	3.15	2574	611	4.21	10.78	4.298	2.51
扣 42	螺灰岩		13.1	8.46	1.55	1429	445	3.21	9.756	3.822	2.55
扣 42	生物灰岩		13	7.62	1.71	510	634	0.80	8.863	3.753	2.36
旺 38	生物灰岩	滨I	24.9	8.12	3.07	1647	949	1.74	12.4	5.171	2.40
庄 64	云质灰岩		22.3	11.00	2.03	2850	769	3.71	12.33	3.914	3.15
滨 22	白云岩		18	9.93	1.81	1719	705.1	2.44	8.305	3.237	2.57
埕 54×1	白云岩		15	10.60	1.42	1609	923.8	1.74	9.888	4.051	2.44
滨 22	泥岩		63	40.97	1.54	2119	1117	1.90	13.04	3.407	3.83
埕 54×1	泥岩		71	43.30	1.64	823.7	401.6	2.05	3.398	2.326	1.46
埕 54×1	泥岩		86	34.25	2.51	591.7	707	0.84	8.613	3.517	2.45

表 2 黄骅坳陷歧口凹陷沙一下亚段碳酸盐岩锶同位素分析测试结果表

Table 2 The result of carbonatite Sr isotopic geochemistry of Sha-1 lower sub member in Qikou Sag, Huanghua Depression

井位	实验室编号	深度(m)	层位	样品名称	⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr	绝对误差(2σ)
埕 54×1	3010141	3165	tr o	白云岩	0.71078	0.00005
滨 22	3010133	2570.4	权 3	白云岩	0.71095	0.00003
埕 54×1	3010139	3180		白云岩	0.71077	0.00004
埕 54×1	3010143	3196.4		白云岩	0.71048	0.00002
埕 54×1	3010132	3208.6		白云岩	0.71013	0.00008
旺 22	3010137	2545.2	板 4	泥质白云岩	0.71058	0.00002
旺 38	3010138	1973.4		白云岩	0.71070	0.00005
房 10	3010135	2793.7		白云岩	0.71029	0.00005
滨 22	3010140	2599.4		白云岩	0.71052	0.00005
埕 54×1	3010146	3227.7		白云岩	0.70953	0.00004
埕 54×1	3010134	3228.3	Ver T	白云岩	0.70970	0.00004
滨 22	3010142	2623.3		白云岩	0.71021	0.00005
滨 22	3010144	2629.5	浜 1	生屑灰岩	0.71011	0.00006
扣 42	3010136	2289		泥质白云岩	0.71042	0.00006
旺 38	3010145	1986.6		生屑灰岩	0.70992	0.00001

3.2 古地貌演化特征

歧口凹陷西南缘沙一下亚段为宽缓的湖湾背景,由南向北依次为"水上古隆起一湖坪一盆内低凸

起一湖湾一深湖一半深湖"环境(图 5)。总体表现 为凹陷西高东低、南高北低。具备大面积碳酸盐岩 发育的地质条件。



图 3 黄骅坳陷歧口凹陷沙一下亚段白云岩类型

Fig. 3 The type of dolostone in Sha-1 sub member in Qikou Sag, Huanghua Depression
(a) 一泥晶白云岩,20×10(-),滨 22 井,2599.4m;(b) 一微晶白云岩,SEM,×6000,扣 42 井,2293.10m;(c) 一泥质白云岩,4×10(-), 房 29 井,2561.45m;(d) 一砂质白云岩(加试板),5×10(+),埕 54×1 井,3165.4m;(e) 一灰质白云岩,5×10(-),张参 1-4,2954.3m
(a) 一Micrite dolostone,20×10(-), Well Bin 22,2599.4m;(b) — dolomicrite, SEM,×6000, Well Kou 42,2293.10m;(c) — argillaceous dolomite,4×10(-), Well Fang 29,2561.45m;(d) — sandy dolomite(test plate),5×10(+), Well Cheng 54×1,3165.4m; (e) — limy dolomite,5×10(-), Well Zhangcan 1-4,2954.3m



图 4 黄骅坳陷歧口凹陷沙一下亚段海相性化石特征

Fig. 4 The character of marine fossil of Sha-1 lower sub member in Qikou Sag, Huanghua Depression
(a) 一海绿石,旺 38 井,滨 I 油组; (b) 一灰质白云岩中含胶磷矿,房 29 井,板 4 油组; (c) 一钙质超微化石,房 29 井,板 4 油组;
(d) 一钙质超微化石,张参 1 井,板 4 油组

(a)—Glauconite, Well Wang 38, Bin 1; (b)—collophanite in limy dolomite , Well Fang 29, Ban 4; (c)—calcareous nannofossils, Well Fang 29, Ban 4; (d)—calcareous nannofossils, Well Zhangcan 1-4, Ban 4



图 5 黄骅坳陷歧口凹陷沙一下亚段底界古 地貌示意图(据大港油田)

Fig. 5 Palaeogeomorphology outline map of Sha-1 lower sub member in Qikou Sag, Huanghua Depression (accrding Dagang Oilfield)

以地层厚度为依据,按沙一下亚段的所分4个 小油层组为做图单元,依次对工区内的滨 I、板4、 板3、板2油组进行了古地貌的恢复,以最大限度地 还原白云岩的沉积环境。

3.2.1 滨 [油组古地貌特征

滨 I 时期湖盆总的表现为"隆一洼"相间的古地 貌特征。"隆"指盆内 3 个凸起:由南向北依次为孔 店凸起、羊三木凸起、港西凸起。3 个凸起主体均呈 南北向展布,其中孔店凸起范围最大,分别在其西侧 的齐家务和沧州以南地区有两个相对较大的次级洼 陷分布;羊三木凸起控制的次级洼陷主要分布于黄 弊地区和周清庄地区,在其北侧主要为半深湖一深 湖洼陷;港西凸起范围较小,周缘无明显受其控制的 洼陷分布(图 6a)。

3.2.2 板 4 油组古地貌特征

板4油组时期湖盆水体加深,水域范围扩大。 盆内凸起范围也较滨 I 期大范围缩小,主体方向以 南西一北东向为主。港西凸起受周缘构造影响,凸 起范围不减反增,形态主要继承了滨 I 时期;孔店凸 起由于水体的超覆淹没,凸起范围很小;羊三木凸起 则完全被淹没,整体接受沉积。洼陷区较滨 I 期范



图 6 黄骅坳陷歧口凹陷沙一下亚段滨 I-板 2 油组古地貌示意图

Fig. 6 Palaeogeomorphology outline map of Sha-1 lower sub member (Bin 1-Ban 2) in Qikou Sag, Huanghua Depression (a)一滨 I 油层组; (b)一板 4 油层组; (c)一板 3 油层组;(d)一板 2 油层组

(a)-Reservoir group of Bin I; (b)-reservoir group of Ban 4; (c)-reservoir group of Ban 3; (d)-reservoir group of Ban 2

围扩大,洼陷主体分布于齐家务一沧州一线,赵家堡 及徐阳桥地区也有较明显的洼陷分布,六间房、周清 庄地区由于港西凸起的影响,也表现为相对的低洼 地形(图 6b)。

3.2.3 板 3 油组古地貌特征

板 3 油组古地形地貌较滨 I 和板 4 油组有较大的变化,结束了滨 I、板 4 时期的持续湖盆水体扩张进程。前期的"隆一洼"相间地形被逐渐的填平补齐,盆内整体表现为平缓的古地貌特征。凹陷北部的港西凸起被淹没,羊三木凸起和孔店凸起连成一体。洼陷则主要分布于齐家务一沧州一线,但范围较小,孔店凸起南部及东部主要以平缓的湖湾背景为主(图 6c)。

3.2.4 板 2 油组古地貌特征

板 2 油组凹陷南部主要继承了板 3 时期的古地 貌特征。但孔店凸起范围缩小,北部构造重新活动, 港西凸起重新露出水面,齐家务、周清庄和赵家堡地 区也有较大范围的洼陷分布。但总体特征还是以平 缓地形为主(图 6d)。

3.3 湖盆水体封闭性特征

湖盆水体的封闭性与开放性是古湖盆研究中一 个重要方向,尤其是对以化学沉积为主的咸化湖盆。 碳、氧稳定同位素分析是较常用且有效的一种方法, 它可以用来进行地层划分、对比;水体古盐度、古温 度、古气候的恢复(刘传联,1998;孙媛媛,2009)。目 前,该方法广泛地应用于古海洋学和第四纪古湖泊 学的研究。

通过对现代不同类型湖泊中碳酸盐碳氧稳定同 位素进行大量测试分析后发现:在开放型淡水湖泊 中,原生碳酸盐 δ^{13} C 和 δ^{18} O 之间相关性很差,而且 δ^{13} C和 δ^{18} O均以负值为主。在 δ^{18} O为横坐标, δ^{13} C 为纵坐标,0为原点的坐标系中,其投点多落在第Ⅲ 象限,且 δ^{13} C和 δ^{18} O值呈散乱分布,无规律可循, 如美国亨德森湖(Henderson)、瑞士格赖芬湖 (Greifensee)和以色列 Huleh 湖。而在封闭型的咸 水、半咸水湖泊中, δ¹³C和 δ¹⁸O之间具明显的正相 关关系,一般来说,湖盆水体越是封闭,其碳氧同位 素值相关系数就越大, δ¹⁸ O 正负均有, δ¹³ C 则基本 为正值,其投点大多落在Ⅰ、Ⅱ象限,碳氧同位素值 呈较规则的线状分布,如图尔卡纳湖(Turkala)、美 国大盐湖(Great Salt Lake)、纳特龙-马加迪湖 (Natuon-Magadi)(刘传联, 2001)。研究区碳酸盐 样品碳氧同位素测试值如表3所列。

表 3 黄骅坳陷歧口凹陷沙一下亚段碳酸盐岩碳、 氧同位素分析结果表

Table 3The result of carbonatite carbon and oxygen isotope ofSha-1 lower sub member in Qikou Sag, Huanghua Depression

-H- /z	$\delta^{18}O_{PDB}$	$\delta^{13} C_{PDB}$		$\delta^{18}O_{PDB}$	$\delta^{13} \mathrm{C}_{\mathrm{PDB}}$	
开名	(‰)	(‰)	开名	(‰)	(‰)	
张参1	-9.13	0.06	扣 42	-2.0	13.9	
埕 54×1	-2.12	13.57	扣 42	-1.1	9.9	
滨 22	-0.08	17.26	扣 42	-10.0	3.8	
房 29	-9.7	1.1	旺 38	-8.5	-5.8	
旺 38	-8.0	1.6	房 10	-6.4	3.7	
旺 38	-8.9	1.7	庄 64	-2.7	9.5	
旺 38	-8.4	4.3	张参1	-6.46	7.79	
房 10	0.59	19.19	张参 1-4	-3.49	14.27	
旺 22	-2.69	11.24	张参 1-4	-11.55	-1.37	
旺 38	-0.08	15.15	张参 1-4	-10.28	1.9	
埕 54×1	0.69	16.58	埕 54×1	-3.31	6.45	
埕 54×1	-10.95	-0.84	扣 42	0.65	11.66	
埕 54×1	-1.12	17.86	旺 38	-11.26	3.09	
滨 22	-3.46	12.3	埕 54×1	-4.46	8.8	
滨 22	0.97	19.89	埕 54×1	-4.71	12.01	
扣 42	-2.7	13.4	滨 22	-2.09	9.73	
扣 42	-4.1	8.8	滨 22	-5.44	2.04	
扣 42	-2.8	12.0				



图 7 黄骅坳陷歧口凹陷沙一下段湖相碳酸盐碳氧 同位素分布特征



在 δ¹⁸O 为横坐标,δ¹³C 为纵坐标,0 为坐标原 点的坐标系中,研究区样品的 C、O 同位素投影主要 落在第二象限,少部分分布于第一和第三象限(图 7)。根据相关性系数(r)的计算公式:

$$r = \frac{\Sigma XY - \frac{\Sigma XY}{N}}{\sqrt{(\Sigma X^2 - \frac{(\Sigma X)^2}{N})(\Sigma Y^2 - \frac{(\Sigma Y)^2}{N})}}$$

其中,X值以 δ^{18} O为准,Y值以 δ^{13} C值为准,N=35(样品数)。

计算结果表明,研究区碳氧同位素的相关系数 r=0.894。说明两者具有较好的相关性,坐标系中 呈线性条带分布。表明研究区沙一下亚段时期湖盆 水体的封闭性很好,水体循环较差。

之所以出现这种现象,是由于影响同位素演化 的因素在开放型和封闭型两类湖泊中的差异造成 的。在开放型湖泊中,水体进入和流出交换频繁,具 有相同水化学特征的水体在湖盆中停留时间短,因 此,湖盆内碳、氧稳定同位素更多地反映了注入水的 同位素特征。注入水主要包括地表径流水(河水)、 地下水和大气水等。这些水体中影响氧和碳同位素 的因素并不同,所以两者的变化趋势一致性较差,相 关系数很低。而封闭型湖泊中则不然,由于湖盆水 体只进不出,使得水体在局部洼陷地区停留时间很 长,在这阶段碳氧同位素会发生显著的演化。

4 结论

研究证实了海侵作用是歧口凹陷沙一下亚段湖 盆咸化的主要影响因素。海侵不仅为近海湖盆白云 岩的形成提供了部分 Mg²⁺,更重要的是改变了湖 盆水体性质,促进了白云岩化作用。

通过对研究区沙一下亚段古地貌研究发现,滨 I和板4油组古地貌表现为"洼一隆"相间,浅湖洼 地环境有利于重盐水的聚集,是湖相白云岩的主要 发育环境。

研究区白云岩的碳氧同位素的相关性较好,表 明湖盆水体的局部封闭性强,使得海侵导致的湖盆 咸化环境得以保存。

参考文献

- 向芳,王成善.2001. 锶同位素在沉积学中的应用新进展. 地质地球化 学,29(1):79~82.
- 陈丽蓉,时英民,申顺喜,徐文强,李坤业.1982. 闽南一台湾浅滩大陆 架海绿石的研究.海洋与沼泽,1(4):114~119.
- 蔡毅,熊琦华.2005. 尕斯库勒油田 E32 油藏白云岩成因及储集性. 石油勘探与开发,32(5):30~33.
- 戴朝成,郑荣才,文华国,雷光明,谢春红.2008. 辽东湾盆地沙河街组 湖相白云岩成因研究. 成都理工大学学报(自然科学版),35(2):

 $187 \sim 192.$

- 金振奎,邹元荣,张响响,蒋春雷.2002.黄骅坳陷古近系沙河街组湖 泊碳酸盐沉积相.古地理学报,4(3):11~18.
- 侯奎,陈镇东,陈延成,田兴有.2001.颗石藻与环境.植物资源与环境 学报,10(1):51~56.
- 侯奎,陈镇东,陈延成.1999.颗石藻与海洋、环境之探讨.化工矿产地 质,21(1):30~36.
- 郝冶纯,李蕙生.1984.渤海沿岸及邻近地区早第三纪钙质超微化石的发现及其意义.科学通报,29(12):741~746.
- 黄杏珍,邵宏舜,闫存凤,妥进才,何祖荣,张新社,王寿庆,李玉兰. 2001. 泌阳凹陷下第三系湖相白云岩形成条件. 沉积学报,19 (2):207~212.
- 刘传联.1998.东营凹陷沙河街组湖相碳酸盐岩碳氧同位素组分及其 古湖泊学意义.沉积学报,16(3):109~114.
- 刘传联,赵泉鸣,汪品先.2001. 湖相碳酸盐氧碳同位素的相关性与生油古湖泊类型. 地球化学,30(4):363~367.
- 任来义,林桂芳,谈玉明,王德仁.2002.从古生物和地球化学标志看 东濮凹陷早第三纪的海侵事件.西安石油学院学报(自然科学版),17(1):20~23.
- 史忠生,陈开远,何胡军,史军,刘保军.2003. 锶同位素在沉积环境分 析方面的应用.石油与天然气地质,24(2):187~189.
- 宋一涛,李树.1995.颗石藻生烃的热模拟实验研究.高校地质学报,1
 (2):95~100.
- 孙钰,钟建华,袁向春.2007.惠民凹陷沙河街组一段白云岩特征及其 成因分析.沉积与特提斯地质,27(3):78~83.
- 孙媛媛,刘俊,吕涛,许效松,张启跃,楼雄英,江新胜.2009.罗平生物 群产出层位氧碳稳定同位素的初步研究.地质学报,83(8):1110 ~1116
- 孙镇城,杨革联,乔子真,杨藩,李东明,景民昌.2002.我国咸化湖泊 沉积中钙质超微化石特征及其地质意义.古地理学报,4(2):56 ~62.
- 田景春,尹观,覃建雄,曾允孚,李余生.1998.中国东部早第三纪海侵 与湖湘白云岩成因之关系——以东营凹陷沙河街组为例.中国 海上油气地质,12(4):250~256.
- 吴贤涛,任来义.2004. 渤海湾盆地古近纪海水通道与储层探讨.古生 物学报,43(1):147~154.
- 王云飞. 1983. 抚仙湖现代湖泊沉积物中海绿石的发现及成因的初步 研究. 科学通报,22(17):14~17.
- 袁文芳,陈世悦,曾昌民.2006.济阳坳陷古近系沙河街组海侵问题研 究.石油大学学报,7(4):47~52.
- 张惠良,吴贤涛.1995. 锶同位素在盆地演化分析中的应用. 煤田地质 与勘探,23(5):11~13.
- 张乃娴. 1981. 我国一些地区海绿石的矿物学研究. 地质科学,9(4): 81~87.
- 钟石兰,祝幼华,王建,章炳高.2001.江苏盐城上冈全新世颗石藻及 其环境控制.微体古生物学报,18(2):149~155.

Deposition Environment of the Lacustrine Dolomite in Sha-1 Lower Submember of the Qikou Sag, Huanghua Depression

CHEN Shiyue¹⁾, LI Cong^{2,3)}, YANG Yongqiang¹⁾, XIAO Dunqing⁴⁾, PU Xiugang⁴⁾, HUANG Peng⁵⁾ 1) College of Geo-Resources and Information, CUP, Qingdao, Shandong, 266555; 2) Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100029; 3) Research Institute of Exploration and Develoment, Zhongyuan Oilfield, Sinopec, Puyang, Henan, 457001; 4) Research Institute of Exploration and Development, PetroChina Dagang Oilfield Company, Tianjin, 300280; 5) Northwest Oilfield Company of Sinopec Group, Urumqi, 830011

Abstract

The dolomite of the Sha 1 lower submember in Qikou Sag was developed under the background of lake expansion. Through the microscopic identification, scanning electron microscopy analysis and geochemical analysis and testing on the dolomite samples in the study area, some fossils indicating marine facies were discovered such as glauconite, collophanite and coccolith. It was also found that the lake basin was once effected by the sea water during the same period through the analysis of Sr/Ba ratio, V/Ni ratio and ⁸⁷ Sr/⁸⁶ Sr ratio, which demonstrates that the transgression activities not only provide part of Mg²⁺ for the formation of offshore lake basin dolomite, but more importantly, change the nature of the lake basin water so as to promote the dolomitization. The ancient landscape with alternating "depression" and "uplifting" in the study area, and good correlation of carbon and oxygen isotope by its linear distribution suggest the lake basin had a poor circulation and good closure during the Sha-1 lower sub member period, which led to sustained salinization environment of the basin caused by the transgression, ensuring a favorable environment for the development of the dolomite.

Key words: Qikou Sag; lacustrine facies dolomite; transgression; Sha-1 lower submember