

文章编号:0253-9985(2012)06-0883-07

珠江口盆地文昌A凹陷珠海组储层碳酸盐胶结物分布规律及成因机制

尤丽,李才,张迎朝,甘军,刘景环

[中海石油(中国)有限公司湛江分公司,广东湛江524057]

摘要:运用沉积矿物学和岩石学等方法,并结合碳氧同位素和电子探针等分析手段,分析了珠江口盆地文昌A凹陷珠海组碳酸盐胶结物的分布规律、形成环境和物质来源。研究表明,碳酸盐胶结物对珠海组储层物性影响明显。当碳酸盐胶结物含量大于5%时,储层物性随其含量增加明显降低。砂岩薄片鉴定结果显示,珠海组储层碳酸盐胶结物的含量和类型横、纵向呈明显规律分布。胶结物含量珠海组一段和二段高于三段,南断裂带高于凹陷中心。胶结物类型以中期铁方解石和晚期铁白云石胶结为主,发育部分菱铁矿和白云石,局部发育早期连晶方解石。碳酸盐胶结物的形成与有机酸脱羧作用有关,且一定程度受淡水影响明显,其物质来源表现为长石的溶解和粘土矿物的转化为其形成提供丰富的钙来源,钙质有孔虫的溶解也是其形成的物质基础。

关键词:碳-氧同位素;碳酸盐胶结物;储层;珠海组;文昌A凹陷;珠江口盆地

中图分类号:TE122.2

文献标识码:A

Distribution and genetic mechanism of carbonate cements in the Zhuhai Formation reservoirs in Wenchang-A sag, Pear River Mouth Basin

You Li, Li Cai, Zhang Yingzhao, Gan Jun and Liu Jinghuan

(China National Offshore Oil Limited Corporation Zhanjiang Branch, Zhanjiang, Guangdong 524057, China)

Abstract: Sedimentary mineralogical and petrological methods in combination with oxygen-carbon isotope and electron probe were used to analyze the distribution, forming environment and material sources of the carbonate cements in the Zhuhai Formation in Wenchang A sag, Pear River Mouth Basin. The result indicates that the carbonate cements significantly affect reservoir quality. When the content of carbonate cements is greater than 5%, the reservoir quality significantly deteriorates. Furthermore, the distribution of carbonate cements show obvious regularity both vertically and horizontally. The content of carbonate cements in the 1st and 2nd members of Zhuhai Formation are higher than that of the 3rd member, and it is higher in the southern fault zone than the center of the sag. The carbonate cements are dominated by middle ferric calcite and late ferric dolomite, followed by siderite and dolomite as well as local early crystal stock calcite. The forming of carbonate cements is resulted from decarboxylation of organic acid and influenced obviously by freshwater. In addition to dissolution of calcareous foraminifer, feldspar dissolution and clay mineral transformation provide abundant calcium for the carbonate cements development.

Key words: carbon-oxygen isotope, carbonate cement, reservoir, Zhuhai Formation, Wenchang A sag, Pear River Mouth Basin

碳酸盐矿物是储集砂岩常见的胶结物,是成岩作用的重要产物,其常呈孔隙充填或交代其他

矿物产出。碳酸盐胶结物对储层物性有双重影响:一方面,其存在使原生孔隙减少,降低储层物

收稿日期:2011-10-08;修订日期:2012-09-22。

第一作者简介:尤丽(1983—),女,工程师,储层地质及成岩作用。

基金项目:国家科技重大专项(2011ZX05023-001-007)。

性^[1-3];另一方面,早期胶结作用可以阻碍压实作用的进行,在合适的条件下发生溶解作用,形成次生孔隙,改善储层物性^[3-4]。珠江口盆地文昌 A 凹陷珠海组砂岩是目前珠江口盆地西部重要的气勘探目的层之一,成岩作用对该区储层物性影响明显^[5],压实作用和胶结作用明显降低该区储层物性,溶解作用改善储层物性,胶结作用以碳酸盐胶结物为主要特征。为此,弄清珠海组碳酸盐胶结物类型、分布规律,进而揭示碳酸盐胶结物的成因机制,对今后珠江口盆地西部气勘探寻找优质储层提供一定的资料基础和参考依据。

1 地质概况

文昌 A 凹陷属于珠江口盆地西部珠三坳陷的二级构造单元,北靠阳江低凸起,西与文昌 B、C 凹陷相邻,南以边界断裂与神狐隆起相接(图 1)。基底主要为变质岩,夹有侵入岩、喷出岩,上覆地层自下而上划分为古近系神狐组、文昌组、恩平组、珠海组及新近系珠江组、韩江组、粤海组、万山组和第四系。古新世至渐新世早期(神狐组、文昌组、恩平组)沉积时为裂谷湖泊充填期,是主要烃源岩发育期。渐新世晚期(珠海组沉积时)海水入侵,沉积了海湾相砂泥岩,形成上下两套储盖组合,是凹陷内的主要储集层段。早中新世珠江组下部为退积的海湾相沉积,是本区凸起部位的主要储层;珠江组沉积晚期又一次海浸,成为开阔浅海,以泥质沉积为主,是本区区域性盖层。

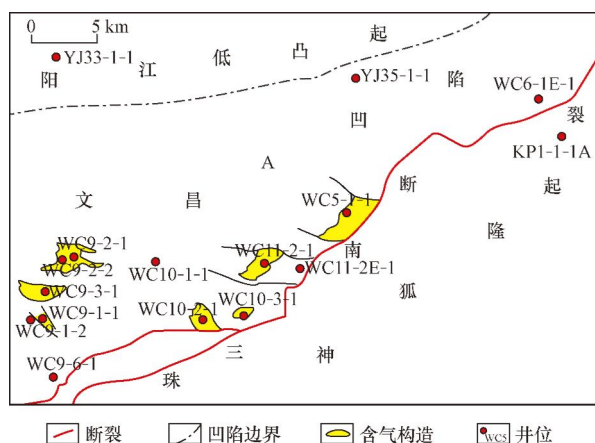


图 1 文昌 A 凹陷构造单元示意图

Fig. 1 Schematic map showing structural units of Wenchang A sag

2 碳酸盐胶结物分布规律及对储层物性影响

2.1 碳酸盐胶结物分布规律

砂岩铸体薄片和扫描电镜观察,珠海组砂岩以碳酸盐胶结物为主,部分为石英次生加大等其他自生矿物,碳酸盐胶结物以中期铁方解石和晚期铁白云石为主,发育部分菱铁矿和白云石,局部发育早期方解石。根据 12 口井 824 个岩心、壁心砂岩薄片鉴定资料,珠海组砂岩碳酸盐胶结物含量变化为 0.3%~15.8%,其中,珠海组一段和二段较三段含量高,珠海组一段和二段含量主要集中在 5%~10%,珠三段含量仅为 5%左右。这种不同层位碳酸盐胶结物含量差异,反映原始沉积条件及成岩流体的差异。南断裂带下降盘珠海组各段碳酸盐矿物较凹陷中心丰富,这是由于南断裂带下降盘较凹陷中心构造活动强烈,在强的构造应力作用下,砂、泥岩孔隙流体交换作用更强,更容易形成钙质砂岩^[6]。碳酸盐胶结物分布具体表现如下(图 2)。

1) 中期铁方解石,分布范围较广,主要分布在南断裂带珠海组二段和凹陷中心珠海组三段,含量以小于 10% 为主,少部分大于 10%。呈连晶形式充填孔隙或交代碎屑颗粒(交代强烈仅留少量残骸),染色后,镜下观察呈现紫红色(图 3a)。

2) 晚期铁白云石,分布较广,含量较高,在 0~20% 均有分布,以南断裂带珠海组二段、三段及凹陷中心大量分布。呈分散状和颗粒状分布于粒间孔或溶蚀孔中(图 3b,c),也有呈交代碎屑颗粒或交代早、中期碳酸盐胶结物出现,常见交代中期连晶铁方解石(图 3a),反映铁白云石形成最晚。

3) 白云石,含量相对较少,基本小于 10%,在南断裂带和凹陷中心珠海组各段差别较小,常呈分散状分布于粒间孔中,有时被铁白云石交代(图 3c)。

4) 方解石,珠海组砂岩中方解石不发育,仅在南断裂带下降盘珠海组一段含量较高,集中在 WC10-3-1 井,呈连晶基底式充填粒间孔,碎屑颗粒呈飘浮状接触,阴极发光显示橙红色(图 3d),单偏光下观察呈现红色(染色后),说明方解石形成时间较早。

5) 菱铁矿,南断裂带除珠海组三段少量分布外,珠海组一段和二段均未见有,凹陷中心珠海组

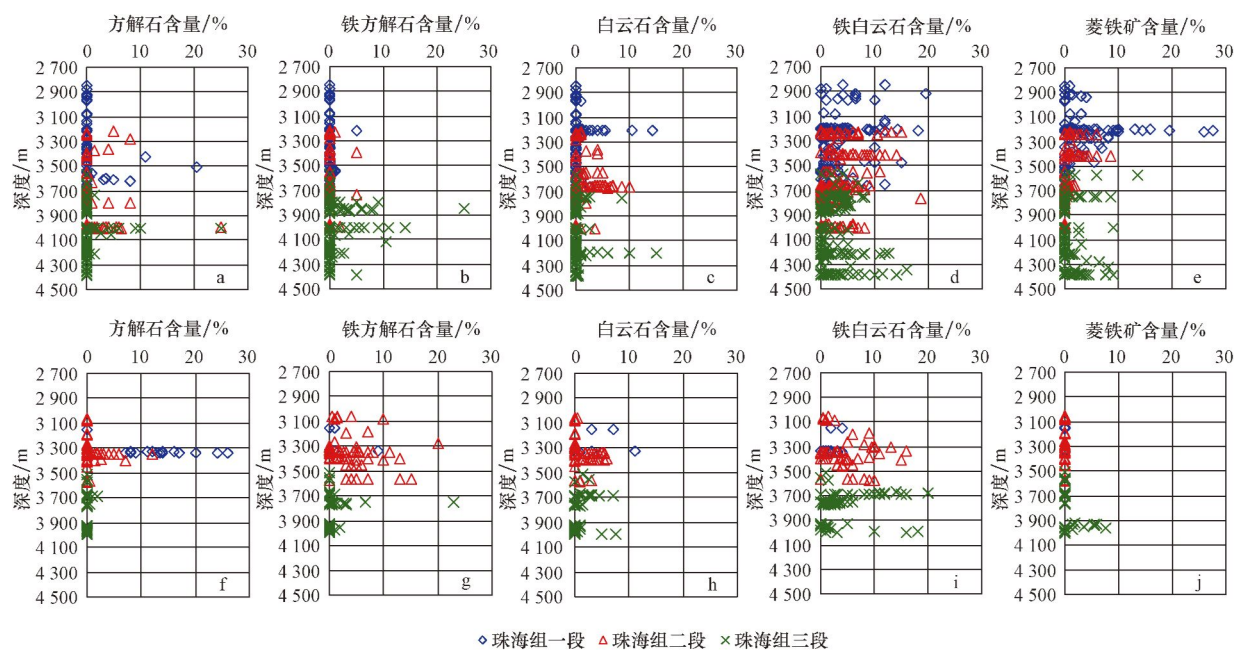


图2 文昌 A 凹陷珠海组碳酸盐胶结物分布

Fig. 2 Distribution of carbonate cements of the Zhuhai Formation in Wenchang A sag

a, b, c, d, e. 凹陷中心; f, g, h, i, j. 南断裂带

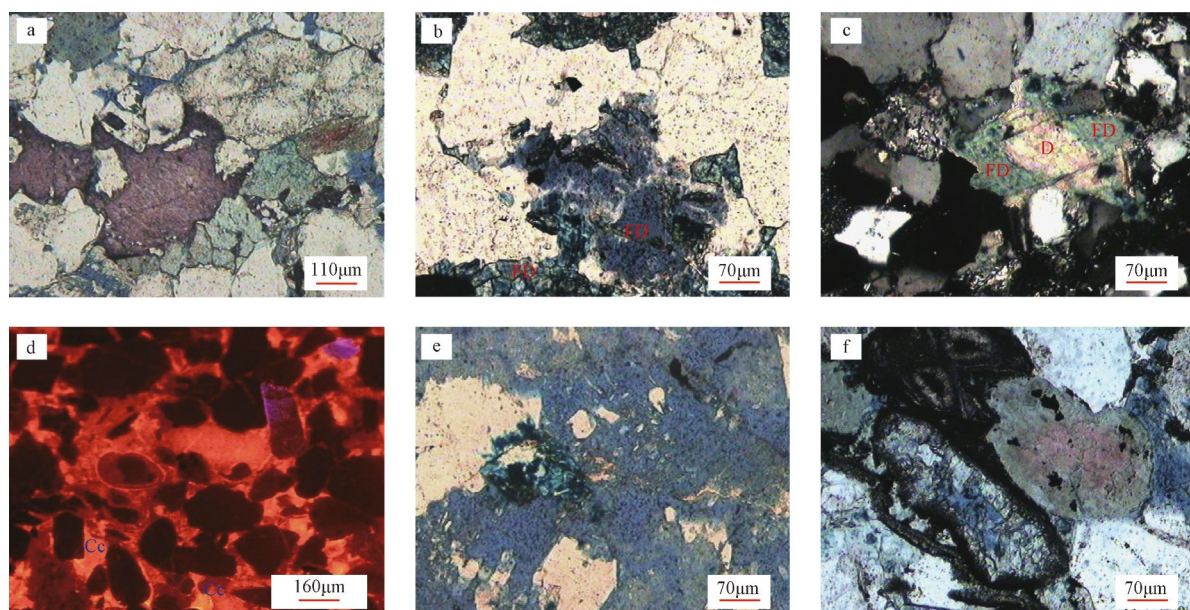


图3 文昌 A 凹陷珠海组碳酸盐胶结物典型显微照片

Fig. 3 Typical photomicrograph of carbonate cements of the Zhuhai Formation in Wenchang A sag

a. 细-中砂岩,铁方解石和铁白云石胶结,WC9-2-3井,3 858.01 m,珠海组三段,单偏光;b. 粗-中砂岩,铁白云石 (FD)胶结,WC10-2-1井,3 686.77 m,珠海组三段,单偏光;c. 铁白云石 (FD)和白云石 (D)胶结,WC9-2S-1井,3 553.55 m,珠海组二段,正交光;d. 细-中砂岩,连晶方解石 (Cc,橙红色光)胶结,WC10-3-1井,3 339.24 m,珠海组一段,阴极发光;e. WC9-3-1井,3 795.15 m,长石严重溶解,溶孔中铁白云石充填,单偏光;f. WC11-2-1井,3 564.92 m,生物体腔溶孔,单偏光

一段大量分布,珠海组二段和三段含量小于10%。其常呈褐色粒状分布于粒间孔中。菱铁矿形成较早,其发育程度多与沉积环境有关^[7-8]。

2.2 碳酸盐胶结物对储层物性的影响

前面已介绍,珠海组砂岩碳酸盐胶结物表现

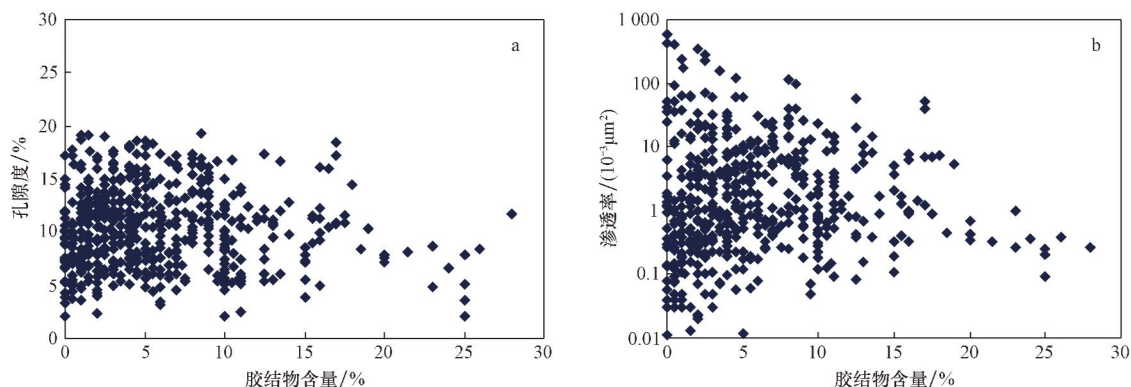


图4 文昌A凹陷珠海组砂岩储层孔隙度、渗透率与碳酸盐胶结物关系

Fig. 4 Relations between porosity/permeability and carbonate cements of Zhuhai Formation in Wenchang A sag

为多类型、多期胶结,以中、晚期为主,局部发育早期胶结(如WC10-3-1井珠海组一段早期方解石胶结)。珠海组埋深大于2800 m砂岩薄片鉴定资料显示(图4),碳酸盐胶结物含量小于5%时,其碳酸盐胶结物含量差异对储层物性影响较小;碳酸盐胶结物含量大于5%时,孔隙度和渗透率随碳酸盐胶结物含量增加而减小,碳酸盐胶结物是珠海组深部储层物性变差的重要原因。而早期碳酸盐胶结物存在,一定程度阻碍压实作用,并在成岩过程中,与酸性流体发生溶解,改善储层物性。

3 碳酸盐胶结物成因机制

碳酸盐胶结物常为两种成因,一种是与碎屑

同时沉积形成的早期的化学成因碳酸盐,另一种更为普遍的是在成岩过程中从孔隙流体中沉淀形成的。铸体薄片观察(图3)和鉴定,珠海组砂岩的碳酸盐胶结物基本为成岩过程中形成的,是从孔隙流体中沉淀而成的。由碳、氧同位素换算的基恩-韦伯Z值可以粗略判断孔隙水介质性质,当Z大于120时,水介质的性质为海水来源,当Z小于120时,则为陆相淡水来源。珠海组7口井31个碳、氧同位素样品分析,Z在102~117分布,主峰为106~112,平均值109(表1);结合3口井电子探针分析,珠海组砂岩的碳酸盐胶结物表现为以Ca为主,部分为Mg和Fe, Sr、Na含量极少或无(表2),综合反映珠海组时期孔隙水在一定程度上有淡水的注入,说明碳酸盐胶结物形成受淡水影响明显。

表1 文昌A凹陷珠海组碳酸盐胶结物碳、氧同位素及古地温、Z值

Table 1 Carbon-oxygen isotopes of carbonate cements, paleogeotemperature and Z value of the Zhuhai Formation in Wenchang A sag

层位	构造部位	井号	深度/m	样品类型	样数/个	成岩矿物	$\delta^{13}\text{C}/\text{‰}$	$\delta^{18}\text{O}/\text{‰}$	Epstein 古地温/ $^{\circ}\text{C}$	基恩-韦伯 Z 值
珠海组一段	南断裂东	WC10-3-1	3 332.93 ~ 3 341.20	岩心	4	方解石、铁方解石	-8.524 ~ -6.639/-7.429	-12.116 ~ -11.272/-11.599	75.8 ~ 80.3/77.6	104 ~ 108/106
	凹陷中心	WC9-2-1 WC10-1-1	3 202.39 ~ 3 656.41	岩心	4	白云石、铁白云石	-9.460 ~ -6.020/-7.530	-12.374 ~ -10.570/-11.846	72.0 ~ 81.7/78.9	102 ~ 110/106
珠海组二段	南断裂东	WC10-2-1 WC10-3-1 WC11-2-1	3 344.65 ~ 3 581.32	岩心、岩屑	9	铁方解石、铁白云石	-8.490 ~ -2.080/-5.960	-12.897 ~ -10.430/-11.478	71.2 ~ 84.6/76.9	104 ~ 177/109
	凹陷中心	WC9-1-1	3 406.92	岩心	1	铁白云石	-6.906	-13.493	87.8	106
珠海组三段	南断裂东	WC10-2-1 WC10-3-1	3 406.92 ~ 3 906.00	岩心、岩屑	7	白云石、方解石、铁白云石	-6.906 ~ -3.339/-4.531	-13.493 ~ -9.242/-11.216	64.8 ~ 87.8/75.5	106 ~ 115/112
	凹陷中心	WC9-1-1 WC9-3-1 WC9-2-1	3 745.22 ~ 4 385.12	岩心	6	铁方解石、铁白云石	-7.850 ~ -6.080/-6.763	-14.800 ~ -11.250/-12.972	75.7 ~ 94.9/85.0	104 ~ 109/107

注:表中数据为最小值~最大值/平均值。

表 2 文昌 A 凹陷珠海组碳酸盐矿物元素组成

Table 2 Elementary composition of carbonate cements in the Zhuhai Formation in Wenchang A sag

层位	构造部位	井号	井深/m	矿物	元素相对量/%					
					Ca	Mg	Fe	Sr	Na	Mn
珠海组一段	凹陷中心	WC10-1-1	3 603.80	铁白云石	22.23	6.10	9.86	0.04		0.63
		WC9-2-1	3 201.70	铁白云石	22.68	6.19	8.54	0.03		0.94
	南断裂东	WC10-3-1	3 331.56 ~ 3 339.07	方解石	37.54	0.25	0.50	0.07	0.02	1.30
			3 368.00 ~ 3 396.00	方解石	37.31	0.27	0.22	0.01	0.02	1.64
珠海组二段	凹陷中心	WC9-2-1	3 660.30	白云石	21.11	11.29				0.01
珠海组三段	凹陷中心	WC9-2-1	4 211.50	铁白云石	22.65	5.92	8.65	0.04		1.47
			4 381.00	铁白云石	23.01	5.71	8.02	0.01		2.21
	南断裂东	WC10-3-1	3 753.83	方解石	36.66	0.80	1.19	0.18		0.95

关于碳酸盐胶结物成因,重点为其物质来源,物质来源主要从碳和钙两方面讨论^[1,11]。珠海组成岩碳酸盐的碳、氧同位素明显负偏,且碳同位素与氧同位素总体呈一定正相关性(图 5),以珠海组三段相关性最好,相关系数为 0.76,其次为珠海组一段,相关系数为 0.48,珠海组二段相关性较差,珠海组二段相关性较差可能为碳酸盐胶结物重结晶后同位素分馏造成的^[2]。碳、氧同位素的正相关性说明碳同位素的物质来源与氧同位素反应的温度有关^[3],由氧同位素计算的古地温显示,珠海组碳酸盐胶结物形成温度在 64.8 ~ 94.9 °C (表 1),是早成岩阶段 B 末期 ~ 中成岩期产物,轻碳的碳酸盐是成岩阶段较晚形成的,较高值碳的碳酸盐在成岩阶段较早时期形成,根据 Curtis C D^[9]碳酸盐成因图版判断(图 6),珠海组碳酸盐胶结物碳、氧同位素投点基本落入有机酸脱羧作用区域,说明珠海组碳酸盐胶结物的形成与有机

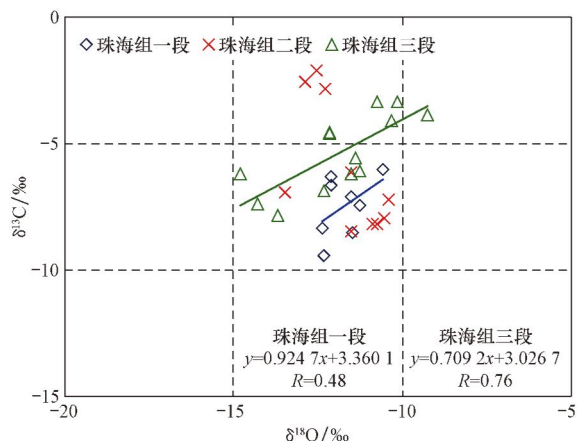


图 5 文昌 A 凹陷珠海组碳酸盐胶结物碳、氧同位素相关性
Fig. 5 Correlation of carbon-oxygen isotopes of carbonate cements in the Zhuhai Formation in Wenchang A sag

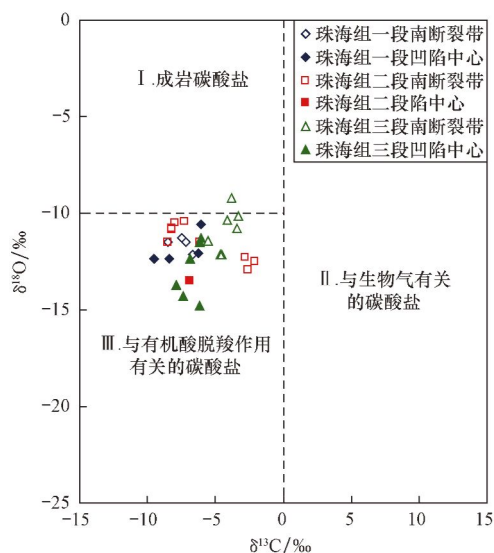


图 6 文昌 A 凹陷珠海组碳酸盐胶结物同位素分布
Fig. 6 Isotopes of carbonate cements of the Zhuhai Formation in Wenchang A sag

酸脱羧作用有关,反映胶结作用发生的深度较深,有机酸脱羧作用是埋藏成岩作用下成岩阶段较晚期形成的轻碳酸盐的重要机制之一^[10]。

前人研究认为^[1-2,11-19],碳酸盐胶结物钙的来源主要包括:长石的溶解、粘土矿物的转化、碳酸盐岩屑的溶解、早期碳酸盐胶结物的溶解及(铝)硅酸盐的水化作用,这些反应均可提供丰富的物质来源。根据砂岩铸体薄片观察,珠海组砂岩溶解作用表现为铝硅酸盐矿物的溶解,以长石溶解为主(图 3e),形成粒内溶孔、铸模孔或超大孔,岩屑溶解为其次,溶蚀孔中充填晚期铁白云石等胶结物,碳酸盐胶结物与长石含量关系图也表明(图 7a),随着长石含量增加,碳酸盐胶结物呈减少趋势,存在一定负相关

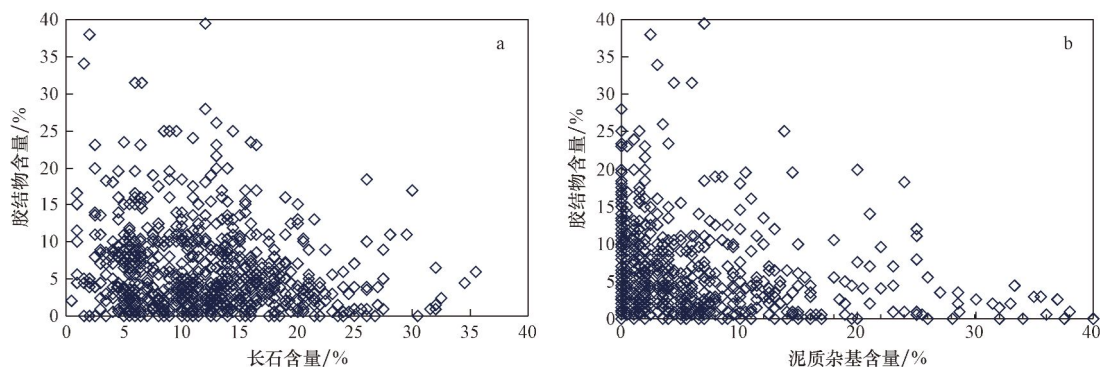


图7 文昌A凹陷珠海组碳酸盐胶结物含量与长石、泥质杂基含量关系

Fig. 7 Content relations of carbonate cements and feldspar/argillaceous mineral of the Zhuhai Formation in Wenchang A sag

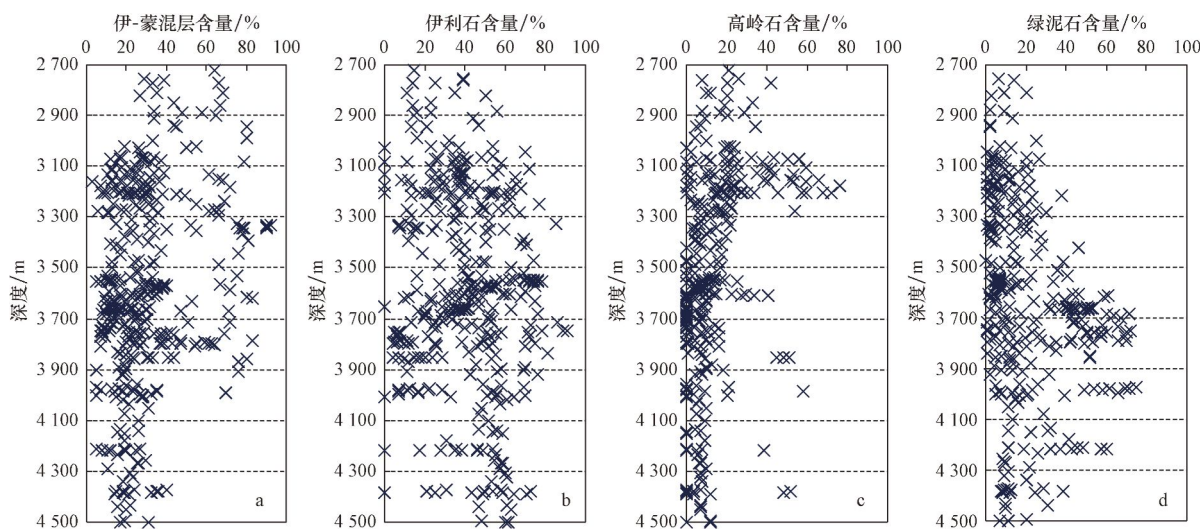


图8 文昌A凹陷珠海组自生粘土矿物演化

Fig. 8 Evolution of authigenic clay minerals of the Zhuhai Formation in Wenchang A sag

性,反映长石的溶解是珠海组砂岩碳酸盐胶结物的重要物质来源之一。研究认为,造成珠海组砂岩不稳定组分溶解主要是由于有机质热演化产生的有机酸溶蚀形成的,且据有机酸浓度和类型,南断裂带东段较凹陷中心,有机酸溶蚀能力较强,有机酸对长石等不稳定组分进行溶蚀溶解,为碳酸盐胶结物沉淀提供丰富物质来源。碳酸盐胶结物与泥质杂基也呈明显负相关性(图7b),说明泥质杂基含量越少,沉积水动力越强,溶解作用越易进行,碳酸盐胶结物越易沉积。珠海组自生粘土矿物演化图显示(图8),随着埋深的增加,伊-蒙混层含量减少,伊利石和绿泥石含量增加,高岭石含量总体呈减少趋势,局部含量较高,蒙皂石不发育,说明随着成岩作用的进行,自生粘土矿物发生了转化,主要表现为伊-蒙混层中的蒙皂石向伊利

石转化,该转化也为碳酸盐胶结物提供了一定的离子来源,反应提供的 Ca^{2+} 、 Fe^{3+} 和 Mg^{2+} 是碳酸盐胶结物的重要物质来源,碎屑岩中尤以含铁碳酸盐胶结物的形成与此反应有关。另外,珠海组砂岩也见有钙质有孔虫,且部分已发生溶蚀(图3f),这种碳酸盐岩屑的溶解也为后期碳酸盐胶结物的沉淀提供一定的物质基础。综上所述,长石溶解和粘土矿物转化是碳酸盐胶结物钙质的主要物质来源,钙质有孔虫的溶解也提供一定的物质基础。

4 结论

1) 碳酸盐胶结物珠海组一段和二段较三段发育,南断裂东段下降盘珠海组各段较凹陷中心丰富。铁方解石主要分布在南断裂带珠海组二段

和凹陷中心珠海组三段;铁白云石以南断裂带珠海组二段、三段及凹陷中心大量分布;白云石含量相对较少,在南断裂带和凹陷中心珠海组各段差别较小;方解石不发育,仅在南断裂带下降盘珠海组一段含量较高;菱铁矿南断裂带除珠海组三段少量分布外,珠海组一段和二段均未见有,凹陷中心珠海组一段大量分布。

2) 碳酸盐胶结物含量大于5%时,孔隙度和渗透率随碳酸盐胶结物含量增加而减小,碳酸盐胶结物是珠海组深部储层物性变差的重要原因。

3) 珠海组碳酸盐胶结物的形成与有机酸脱羧作用有关,且受淡水影响明显。长石溶解和粘土矿物转化是碳酸盐胶结物钙的主要来源,钙质有孔虫的溶解也在一定程度上提供物源。

参 考 文 献

- [1] 刘昊年,邓丽丽,龚业超,等. 川西凹陷须家河组砂岩中碳酸盐胶结物及形成机制[J]. 天然气技术,2008,2(5):24-28.
Liu Haonian, Deng Lili, Gong Yechao, et al. Carbonate cements from Xujiahe sandstone and its forming mechanism, West Sichuan Depression [J]. Natural Gas Technology, 2008, 2(5): 24-28.
- [2] 王芙蓉,何生,何治亮,等. 准格尔盆地腹部永进地区砂岩储层中碳酸盐胶结物特征及其成因意义[J]. 岩石矿物学杂志,2009,28(2):169-178.
Wang Furong, He Sheng, He Zhiliang, et al. Characteristics and genetic mechanism of carbonate cement in sandstone reservoirs of Yongjin area in central Junggar Basin [J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 2009, 28(2): 169-178.
- [3] 张立强,罗晓容. 准噶尔盆地高压带碳酸盐胶结层的分布及特征[J]. 石油实验地质,2011,33(4):388-391.
Zhang Liqiang, Luo Xiaorong. Distribution and characteristics of carbonate cements in overpressure zone of Junggar Basin [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2011, 33(4): 388-391.
- [4] 黄思静,黄培培,王庆东,等. 胶结作用在埋藏砂岩孔隙保存中的意义[J]. 岩性油气藏,2007,19(3):8-13.
Huang Sijing, Huang Peipei, Wang Qingdong, et al. The significance of cementation in porosity preservation in deep-buried sandstone [J]. Lithologic Reservoirs, 2007, 19(3): 8-13.
- [5] 尤丽,李才,刘景环. 文昌 A 凹陷珠海组储层区域成岩作用特征及定量评价[J]. 大庆石油学院学报,2012,36(2):7-13.
You Li, Li Cai, Liu Jinghuan. Regional diagenesis feature and quantitative evaluation from Zhuhai Formation reservoir in Wenchang A Sag [J]. Journal of Daqing Petroleum Institute, 2012, 36(2): 7-13.
- [6] 张永旺,曾溅辉,高霞. 东营凹陷古近系储层碳酸盐胶结物分布特征及主控因素[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2009, 39(1): 16-22.
Zhang Yongwang, Zeng Jianhui, Gao Xia, et al. Distribution characteristics and main controlling factors of carbonate cements in the Paleogene reservoirs in Dongying depression [J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2009, 39(1): 16-22.
- [7] El-ghali M A K, Tajori K G, Mansurbeg H, et al. Origin and timing of siderite cementation in Upper Ordovician glaciogenic sandstones from the Murzuq basin, SW Libya [J]. Marine and Petroleum Geology, 2006, 23(4): 459-471.
- [8] 杨明慧,夏文臣,张兵山,等. 非海相盆地准层序级别的有机相变化及其地质意义[J]. 沉积学报,2000,18(2):297-301.
Yang Minghui, Xia Wenchun, Zhang Bingshan, et al. Parasequence-scale organic facies variations and its significance in nonmarine basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2000, 18(2): 297-301.
- [9] Curtis C D. Isotopic evidence for source of diagenetic carbonates formed during burial of organic-rich sediments [J]. Nature, 1977, 7, 269: 847-850.
- [10] 王清斌,臧春艳,赖维成,等. 渤中坳陷古近系中、深部碎屑岩储层碳酸盐胶结物分布特征及成因机制[J]. 石油与天然气地质,2009,30(4):438-443.
Wang Qingbin, Zang Chunyan, Lai Weicheng, et al. Distribution characteristics and origin of carbonate cements in the middle and deep clastic reservoirs of the Paleogene in the Bozhong Depression [J]. Oil & Gas Geology, 2009, 30(4): 438-443.
- [11] 罗开平,黄泽光,蒋小琼,等. 川东北地区优质碳酸盐岩储层改造机制探讨[J]. 石油实验地质,2011,33(6):559-563.
Luo Kaiping, Huang Zeguang, Jiang Xiaoqiong, et al. Reformation mechanism of high quality carbonate reservoirs in north-eastern Sichuan Basin [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2011, 33(6): 559-563.
- [12] Chowdhury A H, James P A. Origin, distribution and significance of carbonate cements in the Albert Formation reservoir sandstones, New Brunswick, Canada [J]. Marine and Petroleum Geology, 1996, 13(7): 837-846.
- [13] 张艳,李建明,徐论勋. 鄂尔多斯盆地华庆地区三叠系长6层碳酸盐胶结物及其形成机理[J]. 石油地质与工程, 2010, 24(1): 20-26.
Zhang Yan, Li Jianming, Xu Lunxun. Forming mechanism of carbonate cements of Member 6 of Yanchang Formation in the Huaqing area, Ordos Basin [J]. Petroleum Geology and Engineering, 2010, 24(1): 20-26.
- [14] 孙国强,马进业,王海峰,等. 柴达木盆地北缘马北地区碳酸盐胶结物特征及意义[J]. 石油实验地质,2012,34(2):134-139.
Sun Guoqiang, Ma Jinye, Wang Haifeng, et al. Characteristics and significances of carbonate cements in northern Mahai region, northern margin of Daidam Basin [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2012, 34(2): 134-139.

- gets for the Yanchang Formation in Zhenjing area, south Ordos Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2012, 33(2): 159-165.
- [19] 窦伟坦, 田景春, 徐小蓉, 等. 陇东地区延长组6-8油层组成岩相研究[J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 2005, 32(2): 129-132.
- Dou Weitan, Tian Jingchun, Xu Xiaorong, et al. Diagenetic facies study on Chang 6-8 oil formations of Triassic Yanchang Formation in Ordos Basin, China[J]. 2005, 32(2): 129-132.
- [20] 王琪, 嵯喜准, 史基安, 等. 鄂尔多斯盆地盐池-姬源地区三叠系长₄₊₅砂岩成岩演化特征与优质储层分布[J]. 沉积学报, 2005, 23(3): 397-405.
- Wang Qi, Zhuo Xizhun, Shi J' an, et al. Characteristics of diagenetic evolution of Chang₄₊₅ sandstones (upper Triassic) in Yanchi-Jiyuan Area, Ordos Basin and distribution of high-quality reservoir[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2005, 23(3): 397-405.
- [21] 张海涛, 时卓, 石玉江, 等. 低渗透致密砂岩储层成岩相类型及测井识别方法——以鄂尔多斯盆地苏里格气田下石盒子组8段为例[J]. 石油与天然气地质, 2012, 33(2): 256-264.
- Zhang Haitao, Shi Zhuo, Shi Yujiang, et al. Diagenetic facies types and logging identification methods for low-permeability tight sandstone reservoirs; a case study on the 8th member of Xiashihezi Formation in Sulige gasfield, Ordos Basin [J]. Oil&Gas Geology, 2012, 33(2): 256-264.
- [22] 杨华, 杨奕华, 石小虎, 等. 鄂尔多斯盆地周缘晚古生代火山活动对盆内砂岩储层的影响[J]. 沉积学报, 2007, 25(4): 526-534.
- Yang Hua, Yang Yihua, Shi Xiaohu, et al. Influence of the late Paleozoic volcanic activity on the sandstone reservoir in the interior of Ordos Basin[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2007, 25(4): 526-534.
- [23] 李红, 柳益群, 刘林玉. 鄂尔多斯盆地西峰油田延长组长81低渗透储层成岩作用[J]. 石油与天然气地质, 2006, 27(2): 209-217.
- Li Hong, Liu Yiqun, Liu Linyu. Diagenesis of Chang 81 reservoir with low permeability in Xifeng oilfield. Ordos basin[J]. Oil&Gas Geology, 2006, 27(2): 209-217.

(编辑 张亚雄)

(上接第889页)

- [15] 王芙蓉, 何生, 何治亮, 等. 准噶尔盆地腹部地区深层砂岩储层孔隙特征研究[J]. 石油实验地质, 2010, 32(6): 547-552.
- Wang Furong, He Sheng, He Zhiliang, et al. The reservoir characteristic of deeply buried sandstone in the center of Junggar Basin[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2010, 32(6): 547-552.
- [16] 严继新, 赵习森, 何云峰, 等. 塔里木盆地巴什托油气田石炭系碳酸盐岩沉积相特征[J]. 石油实验地质, 2011, 33(4): 353-358.
- Yan Jixin, Zhao Xisen, He Yunfeng, et al. Sedimentary facies of Carboniferous carbonate rock in Bashitop Oil Field, Tarim Basin [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2011, 33(4): 353-358.
- [17] 田亚铭, 施泽进, 宋江海, 等. 鄂尔多斯盆地宜川-旬邑地区长8储集层碳酸盐胶结物特征[J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 2011, 38(4): 378-384.
- Tian Ya ming, Shi Zejin, Song Jiang-hai, et al. Characteristics of carbonate cements of Member 8 of Yanchang Formation in the Yichuan-Xunyi area, Ordos Basin, China[J]. Journal of Chengdu University Of Technology (Science Technology Edition), 2011, 38(4): 378-384.
- [18] 焦伟伟, 吕修祥, 周园园, 等. 塔里木盆地塔中地区奥陶系碳酸盐岩储层主控因素[J]. 石油与天然气地质, 2011, 32(2): 199-206.
- Jiao Weiwei, Lü Xiuxiang, Zhou Yuanyuan, et al. Main controlling factors of the Ordovician carbonate reservoirs in Tazhong area, the Tarim Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2009, 30(2): 199-206.
- [19] 何治亮, 魏修成, 钱一雄, 等. 海相碳酸盐岩优质储层形成机理与分布预测[J]. 石油与天然气地质, 2011, 32(4): 489-498.
- He Zhiliang, Wei Xiucheng, Qian Yixiong, et al. Forming mechanism and distribution prediction of quality marine carbonate reservoirs[J]. Oil & Gas Geology, 2011, 32(4): 489-498.

(编辑 张亚雄)