

文章编号: 1009-3850(2007)03-0078-07

惠民凹陷沙河街组一段白云岩特征及其成因分析

孙 钰^{1,2}, 钟建华³, 袁向春¹

(1. 中国石化石油勘探开发研究院, 北京 100083; 2. 中国地质大学, 北京 100083; 3. 中国石油大学 地球资源与信息学院, 山东 东营 257061)

摘要: 惠民凹陷沙河街组一段发育大量的湖相碳酸盐岩, 综合岩心、录井、地化及微观资料分析碳酸盐岩特征。碳酸盐岩中发育大量的白云岩, 其常见岩石类型包括生物碎屑云岩、灰质藻云岩、砾屑云岩、鲕粒云岩、泥(粉)晶云岩五大类; 且白云岩在深湖、半深湖、浅湖、滩坝环境均有发育, 垂向上与油页岩、泥岩、生物灰岩及火山岩共生。研究表明, 沙一段白云岩为次生交代的产物, 且海侵作用、古气候条件和火山活动均为湖相白云岩的形成创造了条件。

关键词: 白云岩; 成因; 沙河街组; 惠民凹陷

中图分类号: P588.24⁺5

文献标识码: A

白云岩作为碳酸盐岩的重要油气储层, 北美碳酸盐岩油气藏的 80% 油气产于层状白云岩中, 中国大多数天然气(包括少量原油)也产于白云岩储层中^[1], 因此对白云岩的特征及成因研究是沉积学中一个重要的理论和实际问题。到目前为止, 白云岩成因的研究多集中在海相白云岩, 并提出了相应的成因模式^[2~9], 而对陆相含油气盆地内白云岩的成因研究甚少^[10], 然而陆相白云岩在陆相含油气盆地中的重要地位也是不可忽视的。本文以惠民凹陷沙一段白云岩为研究对象, 分析其岩石类型及特征, 阐述其产出状态及沉积环境, 从而讨论其成因。

惠民凹陷是渤海湾盆地济阳拗陷西部的一个次级凹陷, 沙一段沉积是在沙二末地壳全面抬升和水体收缩之后, 盆地再次整体下降情况下开始接受沉积的。图 1 为惠民凹陷古近纪的综合柱状图, 从图中发现, 惠民凹陷沙一段处在古近纪全球海平面变化上升期, 气候中等干热, 湖水分层性明显。沙一段发育大量的碳酸盐岩, 研究发现碳酸盐中见大量的白云岩。王冠民^[12]在研究商河地区就已发现, 但没

展开论述。笔者此次针对白云岩的特征及其成因进行深入的探讨。

1 白云岩特征

1.1 地球化学特征

白云岩的常量元素主要是 Ca、Mg 的含量, 由表 1 可以看出, 样品中 CaO 含量的变化范围为 18.74%~40.56%, 均值为 31%; MgO 含量的变化范围为 6.96%~17.3%, 均值为 13%; CaO 与 MgO 的比值一般为 1~4; MgO×4.6 的值一般大于 50%, 最高为 79.58%。从表 1 分析可以看出, 惠民凹陷沙一段的湖相碳酸盐岩中发育大量的白云岩。

湖水地球化学的不稳定性导致多种指示性微量元素(如 Sr、Ba、Fe、Mn 等)的大幅度变化, 可用以区分沉积环境、判断古盐度。Sr、Ba 的化学性质相似, 均可形成可溶性的重碳酸盐、氯化物和硫酸盐。与 Sr 相比, Ba 的化合物溶解度偏低, 尤其是其硫酸盐很容易沉淀, 因而多数 Ba 在近岸沉积物中富集, 仅有少量进入到湖底; 而 Sr 的迁移能力要强得多,

收稿日期: 2006-12-05

第一作者简介: 孙钰, 女, 1977 年生, 博士后, 主要从事沉积地质研究。

资助项目: 国家“十五”重大科技攻关项目“济阳拗陷下第三系沉积体系与油气运聚机理研究”(2001BA605A09)。

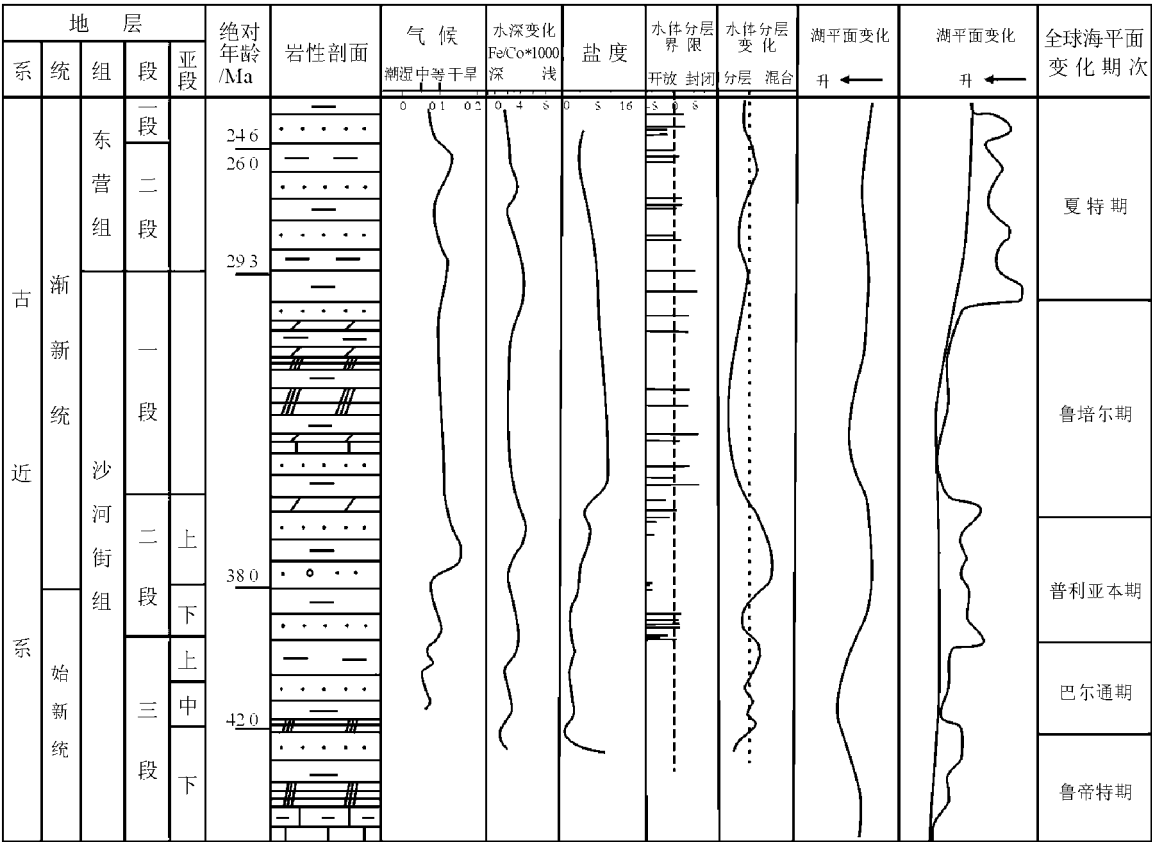


图 1 惠民凹陷古近纪综合柱状图(湖、海平面变化曲线和全球海平面变化曲线引自文献^[11])

Fig. 1 Generalized column of the Huimin depression during the Palaeogene (lake-level, local sea-level and global sea-level curves from Yuan Wenfang et al. , 2006)

表 1 惠民凹陷沙河街组一段碳酸盐岩化学成分表
Table 1 Chemical compositions in the carbonate rocks from the first member of the Shahejie Formation in the Huimin depression

井号	井深/m	岩性	CaO/ %	MgO/ %	CaO/MgO
S8-333	1655. 4	泥晶云岩	34. 93	13. 11	2. 664
	1659. 3	灰质藻屑云岩	37. 02	11. 61	3. 189
S70-6	1807. 7	泥—粉晶云岩	27. 82	14. 33	1. 941
	1810. 4	泥质条带泥晶云岩	27. 9	17. 3	1. 613
S23-23	1434. 6	泥粉晶云岩	35. 7	14. 33	2. 491
	1438. 5	鲕粒灰质云岩	35. 57	13. 87	2. 565
	1463. 3	含泥粉砂质粉晶云岩	18. 74	6. 96	2. 693
S8-296	1585. 8	灰质云岩	31. 08	15. 24	2. 039
	1594. 0	含砂屑泥晶云岩	31. 18	16. 36	1. 906
	1596. 1	灰质云岩	40. 56	10. 53	3. 852
S1-15	1649. 2	泥质云岩	25. 77	14. 7	1. 753
S8-47	1694. 8	灰质藻屑云岩	31. 65	13. 38	2. 365
	1700. 0	泥质云岩	21. 21	12. 53	1. 693
S8-17	1695. 3	灰质云岩	39. 47	10. 68	3. 693

可迁移到湖底深处。因此, Sr/ Ba 常用来判断古盐度、区分淡水和咸水沉积环境¹³, 一般来讲, 淡水沉积的 Sr/ Ba< 1, 海相沉积 Sr/ Ba> 1。由表 2 可见, 各类白云岩中微量元素 Sr/ Ba 的比值都大于 1, 介于 1~5 之间, 且岩石中 Sr, Ba 元素丰度较高。故可认为沙一段沉积的水体应为咸水、半咸水环境。

表 2 惠民凹陷沙河街组一段碳酸盐岩微量元素表
Table 2 Trace element contents in the carbonate rocks from the first member of the Shahejie Formation in the Huimin depression

井号	井深/m	岩性	Sr/ 10 ⁻⁶	Ba/ 10 ⁻⁶	Sr/ Ba
S8-333	1654. 0	泥晶云岩	1320	794	1. 662
S70-6	1807. 9	泥—粉晶云岩	4220	1530	2. 758
S8-296	1591. 0	生物碎屑云岩	1600	363	4. 408
S8-17	1695. 5	灰质云岩	1490	304	4. 901

2 白云岩类型及特征

白云岩以泥晶结构为特征,具微细水平层理,细层厚0.4~1mm,由白云石和少量陆源碎屑、生物碎屑及黄铁矿集合体组成。矿物成分以铁白云石为主,并含高岭石、石英、长石及黄铁矿等。沙一段富含生物化石,因此白云岩中常见生物碎屑,主要为螺、介形虫及少量藻类。通过岩心观察和镜下微观分析发现,区内常见的白云岩有5种类型。

2.1 生物碎屑云岩

生物碎屑云岩主要包括灰质螺云岩和介形虫云岩。

灰质螺云岩分布较广,岩石的主要颗粒组分为螺壳(图版1)。在典型灰质螺云岩中,螺化石多保存较完好,个体一般在1.0cm~0.2cm,种属类型包括狭口螺 *Stenothyra*、恒河螺 *Gangetia*、盘螺 *Valvata*、扁卷螺 *Planorbis* 以及黄河螺等。螺化石在岩石颗粒屑中的百分比最多可达到80%以上。部分螺化石内腔中空或为油所充填,大部分螺壳内部为泥晶白云石或亮晶、泥晶方解石充填。一般情况下,螺壳的矿物成分是由方解石构成的,但镜下发现螺壳主要为白云石,壳内溶解后可见少量方解石,反映强烈的准同生期白云岩化作用。

介形虫云岩也比较常见,介壳完整或破碎,代表沉积时不同的水动力条件。沙一段的介形虫种属有真星介 *Eucypris*、玻璃介 *Candona*、湖花介 *Limnocythere*、华花介 *chinocythere*、似玻璃介 *Candonopsis*、小玻璃介 *Candoniella*、小里介 *Minioocypris*、丽星介 *Cypria*、柄华介 *Stipitalocythere* 等,包括淡水和半咸水的滨浅水属种。一般情况下介形虫的壳是由方解石质构成,但阴极射线发现,介形虫壳壁不发光或发暗色光,体腔内壁及颗粒边缘见呈环边状分布的亮晶白云石发橙红色光,体腔内为白云石充填(图版2),这可能与准同生白云化作用有关。填隙物多为泥晶白云石,反映其低能的沉积环境;另外,部分填隙物表现出亮晶的特征,且介形虫堆积紧密、定向,代表了高能滩相沉积。

2.2 灰质藻云岩

由藻类的粘结作用形成,藻类具生物格架结构。藻类的格架形态多呈树枝状、放射状或不规则状(图版3),大小不一,内部结构较松散而富于粒内孔隙,常称其为“针孔状灰岩”。在商8、商23-23、商21等井中均有发育。构成藻云岩的化石类型包括有疏管藻属 *Paucibucina*、光面球藻属 *Leiosphaeridia*、薄球

藻属 *Tenua*、副渤海藻属 *Parabohaidina* 等^[14]。藻云岩格架孔隙中主要为泥晶白云岩充填,由于选择性溶解作用部分孔隙可被亮晶白云岩充填。

2.3 砾屑云岩

砾屑成分为泥晶白云岩,大小混杂,粒径范围10.0cm~0.5cm,多数大于1.0cm。如图版4所示,砾石的形态多呈棱角状、撕裂状,内部尚残留有原始的水平层理。填隙物则以生屑泥晶白云质为主,含部分因破碎而成的砂屑和粉屑,基质支撑。从取心井分析多见于滩相沉积的下部,其成因多与风暴作用有关。

2.4 鲕粒云岩

鲕粒云岩是碳酸盐岩滩相的典型岩石,主要分布在水下隆起及高能浅滩区。湖相鲕粒的形成多与藻类有关,藻鲕、核形石和具泥晶套的鲕粒构成湖成鲕粒的主要类型。多数情况下,鲕粒粒径一般较小,包壳层圈少,表鲕发育,与鲕粒伴生的颗粒类型复杂。该类岩石在取心井中所见不多,如图版5所示,商1-15井的鲕粒见圈层结构,粒间亮晶方解石不发光、基质发红色光,鲕粒周围环边状亮晶白云石发橙红色光。多数情况下,鲕粒粒径一般较小,包壳层圈少,表鲕发育,与鲕粒伴生的颗粒类型复杂。由于湖泊沉积更易于受古气候的控制,故反映湖水咸化的鲕粒白云岩较为常见。

2.5 泥(粉)晶云岩

该类岩石在研究区内分布广泛,主要形成于水体安静的低能环境,从浅湖到深湖均有分布。结构组分主要为泥晶或粉晶的白云石,局部为细晶、中晶,晶粒较粗者(如细晶、中晶)应为重结晶作用的产物。部分泥晶云岩中含有一些陆源泥质成分,阴极发光,泥晶白云石基质发橙色光,亮晶方解石不发光或发暗色光(图版6),反映了埋藏白云化作用。

3 白云岩的产出状态及沉积环境

通过对区内300多口录井图及取心井的分析发现,白云岩单层虽然较薄,但其在垂向上的分布有一定的规律,不同沉积环境白云岩在钻井中产出的层序特征不同,归纳起来有以下6种类型。

3.1 与油页岩共生的白云岩

此类白云岩在沙一中亚段的顶部较常见,产出特征为与棕褐色油页岩共生(图2a)。表明在湖平面上升期,矿物碎屑沉积速率缓慢,水深突然变化,加速了生物死亡速率,造成了有机质堆积速度的相对升高,形成油页岩;在湖平面下降期,生物死亡速

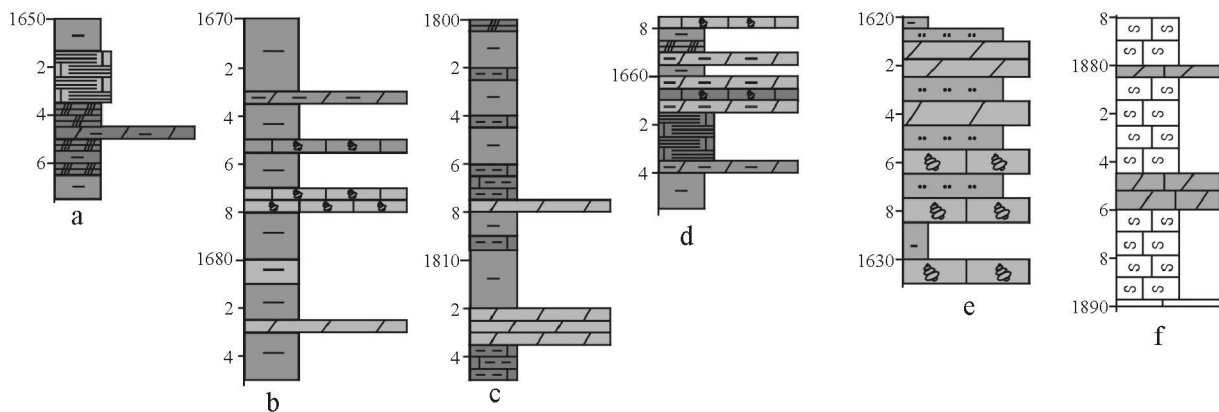


图2 惠民凹陷沙河街组一段白云岩的产出状态

a. 商 1-15 井白云岩与油页岩互层; b. 商 13-43 井白云岩与灰质泥岩互层; c. 盘 213 井白云岩与粉砂岩互层; d. 商 1-15 井白云岩与泥岩互层; e. 商 1-15 井白云岩与生物灰岩互层; f. 夏 6 井灰质白云岩与凝灰岩互层

Fig. 2 Occurrences of the dolostones from the first member of the Shahejie Formation in the Huimin depression

a. Shang 1-15 well; alternating beds of dolostone and oil shale; b. Shang 13-43 well; alternating beds of dolostone and lime mudstone; c. Pan-213 well; alternating beds of dolostone and siltstone; d. Shang 1-15 well; alternating beds of dolostone and mudstone; e. Shang 1-15 well; alternating beds of dolostone and bioclastic limestone; f. Xia-6 well; alternating beds of lime dolostone and tuff

率逐渐趋于正常,结束了富含有机质的相对深水沉积,由于缺少陆源碎屑物质的供应,受埋藏白云化作用的影响形成具微细水平层理的泥(粉)晶白云岩和泥质白云岩,常见介形虫化石碎片。从沉积环境看,白云岩形成于深湖—半深湖环境。

3.2 与泥岩互层的白云岩

此类白云岩在沙一中亚段大部分钻井中均有发现,产出特征为与中厚层暗色泥岩互层(图2b)。以泥粉晶白云岩和泥质白云岩为主。是指沉积物被埋藏以后,在高温高压条件下,由压溶作用形成的富镁离子以及由于压实成岩过程中蒙脱石等粘土矿物转化为伊利石析出的镁离子导致埋藏白云岩化作用的发生。此种类型反映了白云岩形成环境已不受陆源碎屑的影响,即远离滨岸区,为半深湖环境。

3.3 与灰质泥岩共生的白云岩

白云岩产出的又一特点是与棕褐色薄层灰质泥岩互层(图2c)。这是由于湖平面下降期,碳酸盐生产恢复正常,受毛细管浓缩作用和埋藏白云化作用的影响,形成灰质泥岩与白云岩的互层,以泥粉晶白云岩为主,偶见生物碎屑云岩和砾屑云岩。此类白云岩主要发育在浅湖、半深湖环境。

3.4 与生物灰岩互层的白云岩

沙一中亚段的部分钻井中,见灰白色块状残余生物碎屑细晶白云岩与灰白色厚层块状生物碎屑灰岩的互层(图2d)。与生物灰岩互层的白云岩中多以生物碎屑云岩和灰质藻云岩为主。在斜坡浅滩及浅湖地区刚沉积不久的生物灰岩尚未脱离沉积环

境,受毛细管浓缩作用,形成准同生期的生物碎屑云岩。

3.5 与粉砂岩、泥质粉砂岩互层的白云岩

该类型见于惠民凹陷西部靠近埕宁隆起一带的钻井中,在层序特征上表现为薄层白云岩与粉砂岩或泥质粉砂岩互层(图2e)。常见鲕粒云岩和砾屑云岩,偶见生物碎屑云岩,表现为准同生白云岩与细粒的陆源沉积物及粗粒的陆源沉积物相共生的特征。这种层序类型形成于缓坡高能边缘,为滩坝、滩缘环境。

3.6 与火山岩共生的白云岩

此种类型只在火山锥附近才能见到。夏6井中发现在凝灰岩之上堆积薄层的白云岩(图2f)。另外,在一些火山锥地层中(如商74-6、商551井)也钻遇较厚的白云岩,以灰质螺云岩和砾屑云岩最为常见。由于火山锥附近温度高,蒸发作用强,Mg、Ca离子富集,交代早期产物而形成与火成岩共生的白云岩。

4 白云岩的成因及形成条件

白云石是一种很难形成的矿物,是 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 CO_3^{2-} 高度有序地排列而成。白云岩成因假说自从被提出以来,人们从不同角度对白云岩的成因进行了研究并提出了成因模式^[2~8],但归纳起来,白云岩主要有两种成因类型:原生沉淀和次生交代。绝大多数地质学家都认为直接沉淀的原生白云岩仅仅局限于一些蒸发作用较强的盐湖和咸湖内,而地质记

录中的大多数白云岩均为次生交代成因的^[15]。通过对研究区内白云岩沉积特征的研究可以看出,沙一段的白云岩也是次生交代的产物,包括准同生白云岩和成岩白云岩。

4.1 准同生白云岩

刚沉积不久的碳酸钙沉积物尚未脱离沉积环境就被白云石交代形成的产物,其原理为毛细管浓缩作用(蒸发泵作用)。与生物灰岩互层的白云岩中多以生物碎屑云岩和灰质藻云岩为主,此种白云岩多为准同生白云岩。湖水以螺为主的古生物大量吸附 Ca^{2+} 和 CO_2 ,死亡后形成以碳酸钙为主的生物灰岩;由于海侵作用的影响湖水中 Mg^{2+} 的相对浓度不断增加, Mg^{2+} 交代早期形成的生物灰岩中的 Ca^{2+} ,形成与生物灰岩准同生的白云岩。且从钻井取心中已得到证实,商74-6井的泥质白云岩裂缝中充填有塔螺化石和方解石,也就是说,在这些塔螺生长时,白云岩就已形成并且产生了裂缝。另外,在一些火山锥地层中(如商74-6、商551井)也钻遇较厚的白云岩,由于火山锥附近温度高,蒸发作用强, Mg 、 Ca 离子富集,交代早期产物而形成与火山岩共生的白云岩。还有浅湖滩与灰泥共生的白云岩,为灰泥沉积物被交代形成准同生白云岩与灰泥伴生而成的,少量的生物碎屑颗粒或残余颗粒,阴极射线不发光或发均匀的暗红色光。

4.2 成岩白云岩

成岩白云岩是指碳酸钙沉积物固结过程中或在固结以后,被交代而形成的白云岩。研究区沙一段成岩白云岩主要是埋藏白云化作用下产生的。沉积物被埋藏以后,在高温高压条件下,由压溶作用形成的富镁离子以及由于压实成岩过程中蒙脱石等粘土矿物转化为伊利石析出的镁离子均有利埋藏白云化作用的发生。此类岩石多较粗大,晶形完好,有序度高,常见雾心亮边,阴极射线不发光或弱发光。研究区内半深湖、深湖亚相中的厚层泥岩中夹的灰泥石灰岩和泥质灰泥石灰岩由于埋藏相对较深,温度和压力较高,在上覆岩层的压实作用下粘土矿物中的蒙脱石转化为伊利石时析出富镁离子容易导致此类白云化作用的发生,形成泥晶白云岩和泥质白云岩,此种白云岩多与油页岩和泥岩相伴生。

4.3 白云岩的形成条件

白云石的人工合成试验和大量近代白云石的沉积物研究表明多数白云石形成于强烈蒸发的高盐度、高 Mg/Ca 比^[16],较高的 pH 值(弱碱性—碱性)^[17],还原环境^[4,5]及较高温度($28 \sim 35^\circ\text{C}$ 或更

高)^[18]等条件。那么沙一段白云岩形成时是否具备上述条件呢?

首先,惠民凹陷沙一段的沉积环境适合湖相碳酸盐岩的发育。从古气候条件看,惠民凹陷沙一段基本上为中等干热古气候^[19~20],有利于白云岩的形成。受海侵作用的影响,湖盆加深扩张,陆源碎屑不足,水体清澈,适宜大量生物繁衍,有利于碳酸盐岩的发育。同时早期的岩浆活动,形成一系列高于湖底几十米至几百米的火山锥,构成了不同规模的低隆起。而且岩浆为高温的熔融体,在喷发过程中水温升高。因此在低隆起附近,火山喷发带来的适宜水深、温度和丰富的矿物质使得生物繁盛,易形成堆积在火山锥顶部的生物礁(如商58火山锥、商747火山锥顶部的生物礁)。

其次,济阳拗陷古近纪(沙四段和沙一段)沉积演化史中具有海相特征沉积层的存在,表明其曾发生过海侵作用^[21,22],海水的入侵为白云岩的形成提供了物质基础(Mg 来源)和环境条件(高盐度、高 pH 值)。海水中 Mg^{2+} 浓度为 $5.2 \times 10^{-2} \text{mol/l}$,是河水中 Mg^{2+} 浓度($1.7 \times 10^{-4} \text{mol/l}$)的300倍,是湖水中的260倍^[23];同时海水的盐度大,据前文分析,研究区沙一段白云岩形成时,介质的 Sr/Ba 比值大于1,无疑说明白云岩形成受海侵作用的影响;还有海水一般显碱性,使环境介质向较高的 pH 值转变创造了条件;最后海水的入侵易产生滞水层,导致水化学分层现象,进而造成湖水垂向对流循环的停止,使湖底处于还原状态,从而使海水携带的 Mg^{2+} 在这种环境中形成白云岩沉积。

综上所述,沙一段的碳酸盐岩形成之后受海侵作用的影响,在毛细管浓缩作用及埋藏白云化作用下,形成次生交代白云岩。

5 结 论

惠民凹陷沙一段湖相碳酸盐岩中发育大量的白云岩,其常见的岩石类型包括生物碎屑云岩、灰质藻云岩、砾屑云岩、鲕粒云岩和泥(粉)晶云岩五种类型。且白云岩在深湖、半深湖、浅湖、滩坝环境均有产出,垂向上常与油页岩、泥岩、灰质泥岩、生物灰岩、粉砂岩、泥质粉砂岩及火山岩共生。沉积特征及产出状态的研究表明,沙一段的白云岩是次生交代的产物,包括准同生白云岩和成岩白云岩,且海侵作用、古气候条件和火山活动均为湖相白云岩的形成创造了条件。

参考文献:

- [1] 方少仙, 董兆雄, 侯方浩, 等. 层状白云岩储层特征与成因[M]. 北京: 地质出版社, 1999.
- [2] MORROW D W. Diagenesis 1. Dolomite—Part 1: The chemistry of dolomitization and dolomite precipitation [J]. *Geoscience Canada*, 1982, 9(1): 5—13.
- [3] SALLER A H. Petrologic and geochemical constraints on the origin of subsurface dolomite, Enewetak Atoll: An example of dolomitization by normal seawater [J]. *Geology*, 1984, 12(4): 217—220.
- [4] Morrow DW. 白云石化作用和白云石沉淀的化学问题[J]. 国外地质, 1984, (4): 12—19.
- [5] Morrow DW. 白云石化作用模式和古代白云岩[J]. 国外地质, 1984, (5): 1—11.
- [6] 郑荣才, 柳梅青. 试论块状白云岩的混合水成因模式[J]. 矿物岩石, 1992, 12(1): 55—64.
- [7] 朱同兴, 黄志英. 地质记录中的海水白云岩化[J]. 岩相古地理, 1993, 13(5): 16—25.
- [8] FENG ZENGZHAO, JIN ZHENKUI. Types and origin of dolostones in the Lower Palaeozoic of the North China Platform [J]. *Sedimentary Geology*, 1994, 93: 279—290.
- [9] FENG ZENGZHAO, ZHANG YONGSHENG, JIN ZHENKUI. Types, origin and reservoir characteristic of dolostones of the Ordovician Majiagou Group, Ordos, North China Platform [J]. *Sedimentary Geology*, 1998, 118: 127—140.
- [10] 田景春, 曾允孚, 尹观, 等. 东营凹陷西部沙河街组三段上部泥岩中白云岩夹层成因研究[J]. 矿物岩石, 1997, 17(4): 61—67.
- [11] 袁文芳, 陈世悦, 曾昌民. 济阳拗陷古近系沙河街组海侵问题研究[J]. 石油学报, 2006, 27(4): 40—44.
- [12] 王冠民, 鹿洪友, 姜在兴. 惠民凹陷商河地区沙一段碳酸盐岩沉积特征[J]. 石油大学学报(自然科学版), 2002, 26(4): 1—4.
- [13] 同济大学海洋地质系, 海陆相地层辨认标志[M]. 北京: 科学出版社, 1980.
- [14] 刘泽容, 信荃麟, 朱筱敏, 等. 断陷盆地构造带岩相与油气评价[M]. 北京: 科学出版社, 1992.
- [15] 田景春, 陈洪德, 侯明才, 等. 右江盆地晚古生代白云岩特征及成因研究[J]. 地球科学与环境学报, 2004, 26(3): 1—6.
- [16] LAND L S. Holocene meteoric dolomitization of Pleistocene Limestones, North Jamaica [J]. *Sedimentology*, 1973, 20 (22): 411—424.
- [17] MABEL H G, MOUNTJOY, E W. Chemistry and environments of dolomitization: A reappraisal [J]. *Earth Sci. Rev.*, 1986, 23: 175—222.
- [18] 夏文杰. 青海小柴旦盐湖滩岩中原白云石的发现及其意义[J]. 沉积学报, 1986, 14(2): 19—25.
- [19] 姚益民. 中国油气区第三系(IV)渤海湾盆地油气区分册[M]. 北京: 石油工业出版社, 1994.
- [20] 朱宗浩, 范乃敏, 罗华仪. 胜利油区第三纪气候[J]. 山东地质, 2003, 16(1): 22—28.
- [21] 张国栋. 我国东部早第三纪海侵和沉积环境—以苏北盆地为例[M]. 北京: 地质出版社, 1987.
- [22] 张玉宾. 济阳拗陷及其附近地区早第三纪海侵问题之我见[J]. 岩相古地理, 1997, 17(1): 45—49.
- [23] 田景春, 尹观, 覃建雄, 等. 中国东部早第三纪海侵与湖相白云岩成因之关系——以东营凹陷沙河街组为例[J]. 中国海上油气(地质), 1998, 12(4): 250—254.

图版说明

- 1 灰质螺云岩, 单偏光, 10×5, 商58-5, 1719.6m
- 2 介形虫云岩, 阴极发光, 10×5, 商8-296, 1592.0m
- 3 藻云岩, 藻丝体纵切面, 单偏光, 10×5, 商20-2, 1499.0m
- 4 砾屑云岩, 商20-2 1499.1m
- 5 鲕粒云岩, 阴极发光, 10×5, 商1-15 井, 1648.5m
- 6 泥晶云岩, 阴极发光, 10×5, 商8-296, 1594.3m

Genesis of the dolostones from the first member of the Shahejie Formation in the Huimin depression, Shandong

SUN Yu^{1, 2}, ZHONG Jian-hua³, YUAN Xiang-chun¹

(1. Research Institute of Petroleum Exploration and Development, SINOPEC, Beijing 100083, China; 2. China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 3. Faculty of Earth Resources and Information, China University of Petroleum, Dongying 257061, Shandong, China)

Abstract: There widely occur in the Huimin depression the dolostones including bioclastic dolostone, lime algal dolostone, dolomudite, oolitic dolostone and micritic dolostone developed in the abyssal lake, bathyal lake, shallow lake, and shoal and bar environments. Vertically, these dolostones are associated with oil shale, mudstone, bioclastic limestone and volcanic rocks, and interpreted as the secondary replacement products. The transgression, palaeoclimate and volcanism have exerted an important effect on the formation of the lacustrine dolostones.

Key words: dolostone; genesis; Shahejie Formation; Huimin depression

图 版

