

文章编号:1672-9854(2008)-01-0018-07

# 渤海湾盆地歧口凹陷沙河街组一段下亚段湖相白云岩及其与海相白云岩的差异

廖静<sup>1</sup>,董兆雄<sup>1,2</sup>,翟桂云<sup>3</sup>,周立英<sup>3</sup>,范鹏<sup>1</sup>

(1 西南石油大学资源与环境学院; 2 西南石油大学“油气藏地质及开发工程”国家重点实验室)

(3 大港油田分公司勘探开发研究院)



廖静

**摘要** 渤海湾盆地歧口凹陷古近系沙河街组一段下亚段湖相白云岩主要为颗粒白云岩和泥晶白云岩两大类,常与泥质岩成薄互层或与其他碳酸盐岩互层产出。该湖相白云岩有序度较低,类似于海相准同生白云岩;Mg/Ca值偏离正常的化学计量值,具有富钙特征,说明其为快速交替的产物;碳氧同位素、Z值分析结果则反映了湖水的咸化程度较高。根据低海平面期蒸发浓缩盐水在湖底形成密度层并向灰质沉积层中回流渗透导致白云石化发生的机理,建立了歧口凹陷沙一下亚段湖相白云岩的成因模式。湖相白云岩的分布特征及其与海相白云岩的差异分析表明,湖相白云岩具有分布面积小、白云石化作用不彻底等特征,油气储集性能较为局限。

**关键词** 湖相;海相;白云岩;成因;沙河街组;歧口凹陷

**中图分类号**:TE111.3

**文献标识码**:A

**廖静** 1980年生,2003年毕业于西南石油学院,现为在读硕士研究生,储层地质及沉积学专业。通讯地址:610500 四川省成都市 西南石油大学研究生院 05级6班;电话:(028)83032807

## 1 地质概况

歧口凹陷位于渤海湾盆地黄骅拗陷中部,古近纪为近海的断陷—拗陷湖盆。断裂作用不但控制了凹陷的形成、发展和衰亡,同时也控制了湖底地貌与白云石化作用的发生、发展过程。经过始新世—渐新世沙河街期沙三—沙二时( $E_{s3}$ — $E_{s2}$ )的振荡性湖进之后,沙一时( $E_{s1}$ )总体上转为稳定湖进,其产物广泛超覆于区内不同地层之上,并形成湖泊碳酸盐岩与陆源碎屑岩的不等厚间互层的地层格局(图1)。根据岩性在纵向上的分布、变化规律,沙一下亚段又被进一步自下而上细分为滨1油组、板4油组、板3油组和板2油组。板3、板2油组在研究区沉积较为完整。

滨1油组 厚0~80m,与下伏沙二段、沙三段或中生界整合或不整合接触。南部及东缘缺失;中—北部较为稳定,与下伏地层呈过渡沉积。

板4油组 厚10~60m,南部地区常缺失下部。

板3油组 厚10~40m,全区分布。

板2油组 厚10~15m,全区分布。

沙一早期,研究区内不同程度发育颗粒白云岩、泥晶白云岩与灰质泥晶白云岩,其中颗粒白云岩分布于滩相区,灰质泥晶白云岩和泥晶白云岩分布于洼地区(图2)。近年来,在歧口凹陷滩海区沙一下亚段白云岩中已获得了工业油气流。

目前,人们关于海相碳酸盐岩白云石化作用的研究已较为深入,但在湖相白云石化作用方面的研究还远远不足,这主要与湖相白云岩的发育与分布不广有关。笔者对渤海湾盆地歧口凹陷湖相白云岩进行了X射线衍射、碳氧同位素等一系列实验分析,并与通常的海相成因白云岩作了特征对比。根据低海平面期蒸发浓缩盐水在湖底形成密度层以及向灰质沉积层中回流渗透导致白云石化发生的机理,建立了歧口凹陷古近系湖相白

收稿日期:2007-10-30

云岩成因模式，为分析湖相白云岩的分布规律提供了一个基础。

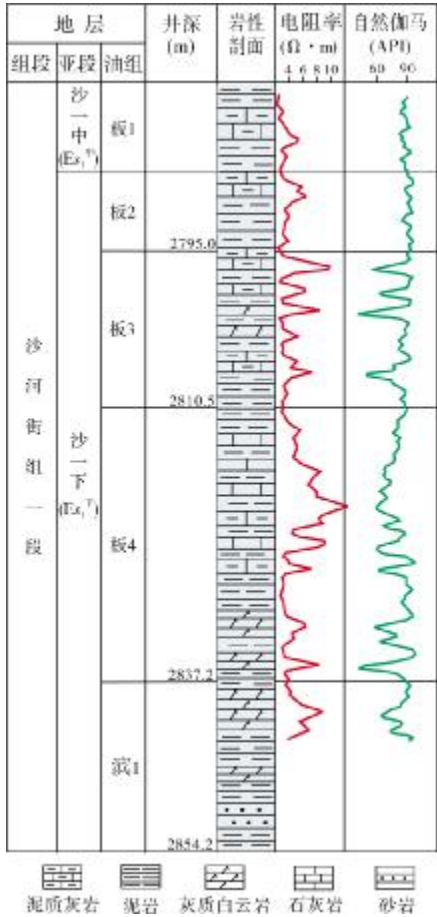


图 1 歧口凹陷张海 16 井沙一下亚段地层柱状图

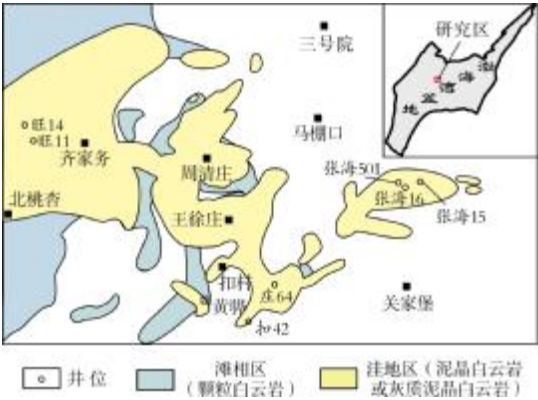


图 2 歧口凹陷不同白云岩发育分布图

2 沉积岩石学及矿物学特征

渤海湾盆地歧口凹陷沙一下亚段的白云岩主要

有泥晶白云岩、颗粒白云岩、灰质白云岩(也包括白云质灰岩)，共约占研究区碳酸盐岩体积分布的31%。

2.1 泥晶白云岩

浅灰褐色，纹层—中层状，具泥晶结构，致密，并含 10%左右泥质，间或见有溶蚀孔，基本不含生物化石，一般与泥岩呈纹层状互层。其中，泥晶白云岩纹层厚 0.03~0.5 mm 不等 (图 3，图 4) 少数可达 1 mm。白云石大小 0.002 5 mm 左右，偶见少量细粉砂、生物碎屑等。常见有方解石微脉以及不连续纹层状或星散状分布的黄铁矿微晶。

泥晶白云岩以板 4 油组较多，其次是板 2+3 油组，主要见于港西凸起以南地区及滩海区湖底低洼地，规模一般不大，呈“串珠状”分布(图 5)。

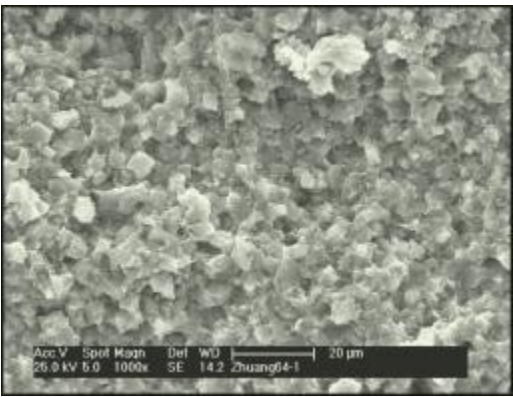


图 3 歧口凹陷泥晶白云岩  
庄 64 井,2610.03m, SEM

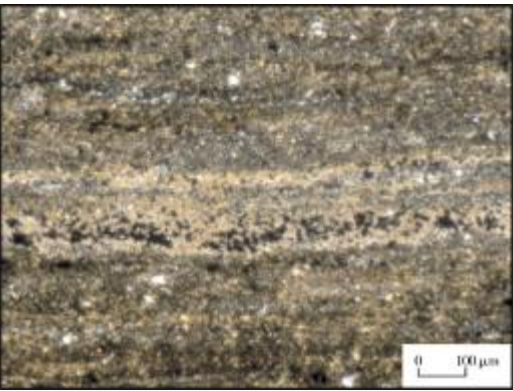


图 4 歧口凹陷纹层状泥质泥晶白云岩  
张海 501 井,2723m,岩屑片,正交光

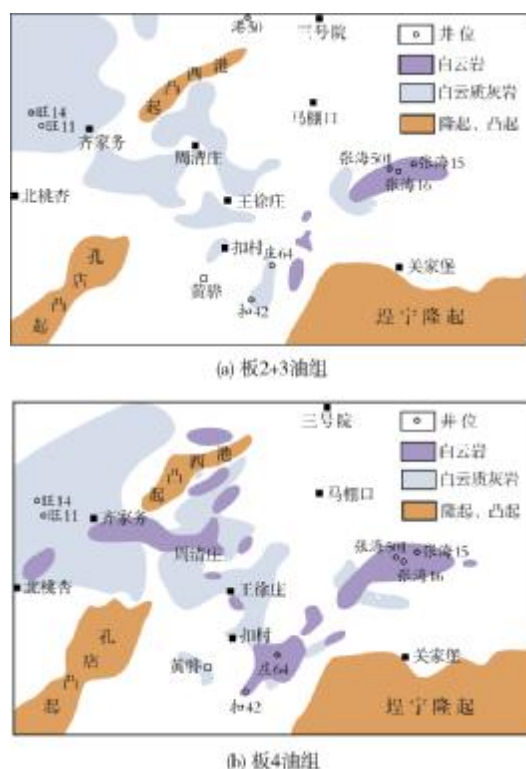


图5 歧口凹陷沙一下亚段白云岩分布

## 2.2 颗粒白云岩

灰色、灰白色,薄—厚层状,以中层状为主。颗粒为鲕粒和/或生物碎屑,含量约60%~70%。鲕核也多为生物碎屑,其次是陆源碎屑。图6为一灰质鲕粒白云岩,鲕粒以表鲕为主,大小0.1~0.5mm不等,一般1~2个圈层,形态呈圆形、椭圆形、弧形等,被泥晶白云石呈组构交代,圈层结构已不清楚,有时能见圈层幻影,间或有未发生白云石化的鲕核。

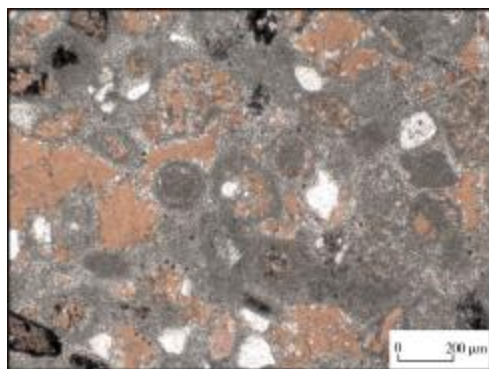


图6 歧口凹陷灰质鲕粒白云岩  
扣42井, 2280.81m, 染色片, 单偏光

生物碎屑主要为腹足类,其次为瓣鳃类,破碎中等。腹足类壳较薄,厚0.025~0.1mm不等,晶粒结构,大部分生物碎屑因白云石化而显泥晶结构。部分体腔为云泥充填,粒间云泥充填或泥粉晶白云石胶结。

区内颗粒白云岩大规模的产出并不多见,横向上主要分布于歧口凹陷西缘港西凸起与孔店凸起间的滨1油组与板4油组颗粒滩环境,多呈小块状分布。

## 2.3 灰质白云岩/白云质灰岩

本区灰质白云岩可分为两类,分别为灰质泥晶白云岩和灰质颗粒白云岩。颗粒按白云石化的程度可分为灰质或云质两类,包括生物碎屑、鲕粒及陆源碎屑等。基质可有灰泥基质和云泥基质。灰质白云岩是本区沙一下亚段发育较多的碳酸盐岩之一。

灰质泥晶白云岩 为灰色—褐灰色,薄层状—纹层状,泥晶结构。常与泥质岩成薄互层或与其它碳酸盐岩互层。泥晶白云岩呈层状或透镜体状与泥晶灰岩呈薄互层,顺纹层有不连续的黄铁矿或呈透镜体发育,少量细粉砂。

灰质颗粒白云岩 包括灰质鲕粒白云岩和灰质生物碎屑白云岩两种。灰质鲕粒白云岩中鲕粒大小不均,放射状为主,圈层厚度0.025~0.05mm,其余特征与前述亮晶鲕粒白云岩中鲕粒特征基本相同。鲕粒部分白云石化,粒间大部分为方解石胶结,少量为云泥。灰质生物碎屑白云岩中生物屑主要为腹足类、瓣鳃类和介形虫等,特征与前述亮晶生物碎屑白云岩基本相同。

此外,在孔店凸起等凸起边缘的个别地方发育白云质砂岩,薄—中层状,颗粒以陆源碎屑为主,常含一定数量的鲕粒、生物碎屑等。粒间为云泥胶结,多发育溶蚀孔隙。

## 3 地球化学特征

### 3.1 低有序度和富钙

低有序度 对歧口凹陷12个白云岩样品的X射线衍射分析(表1),显示其有序度较低,为0.415~0.680,平均为0.544。结合其他地区的一些资料分析,湖相成因白云岩的有序度都比较低。例如甘肃天水周家山和山东枣庄第三系湖相泥晶白云



岩的有序度分别为0.481和0.483<sup>[1]</sup>;济阳坳陷 BS3-12、YS4 等井的始新统湖相泥晶白云岩和藻白云岩的有序度更是低到了0.2<sup>[2]</sup>。海相成因的白云岩有序度差别较大,一般同生和准同生的白云岩有序度较低,可低至 0.6 或更低,但较老地层的白云岩有序度会比新地层的要高一些。如黄志诚等统计的江苏、四川、湖北等省部分地区震旦系—三叠系的海相泥晶白云岩样品资料,其有序度最低为0.6,有84%的有序度大于0.7<sup>[3]</sup>。可见,海相成因白云岩有序度通常高于湖相成因白云岩,这与湖相环境变化快有关,湖相成因白云岩在沉积时更易受陆源补给、气候、水介质等条件以及湖平面振荡性变化等的制约。

富钙 表 1 所示,本区白云岩 Mg/Ca 值平均为 0.8,其中镁离子平均为 44.3%,钙离子平均为 55.7%,表现为富钙的白云岩(标准的 Mg/Ca 值化学计量应该是 1)。笔者依据黄志诚等<sup>[3]</sup>的资料计算,海相白云岩的 Mg/Ca 值变化于 0.93~1.02 间,接近标准的化学计量值。研究区湖相白云岩 Mg/Ca 值明显偏离化学计量值,反映了快速交代的特征。

表 1 歧口凹陷白云岩 X 射线衍射特征

岩石	样品数(个)	有序度	Ca (%)	Mg (%)	Mg/Ca
白云质灰岩	2	0.645~0.680	57.08~60.40	39.60~42.92	0.66~0.75
灰质白云岩	3	0.420~0.588	53.56~57.50	42.50~46.44	0.74~0.87
泥晶白云岩	7	0.415~0.663	53.10~55.87	44.13~46.90	0.79~0.88
平均		0.544	55.70	44.30	0.80

### 3.2 碳氧同位素特征

一般认为淡水的  $\delta^{18}\text{O}$  与  $\delta^{13}\text{C}$  值均低于零,  $\delta^{18}\text{O}$  最低达 $-50\text{‰}$  (PDB),  $\delta^{13}\text{C}$  为 $-11\text{‰}$ ~ $-5\text{‰}$  (PDB)。海水的  $\delta^{18}\text{O}$  与  $\delta^{13}\text{C}$  值相对高一些,  $\delta^{18}\text{O}$  约为 0,但不超过  $1\text{‰}$ ,  $\delta^{13}\text{C}$  为 $-1\text{‰}$ ~ $2\text{‰}$  (PDB)。海水的碳氧同位素值随盐度增高而增高。据王英华等<sup>[4]</sup>研究,湖相白云岩的  $\delta^{18}\text{O}$  基本稳定于 $-8\text{‰}$ ~ $-4\text{‰}$  (PDB);  $\delta^{13}\text{C}$  则在一定范围内变化,显示与湖水咸化或淡化的程度及沉积相等直接相关。歧口凹陷湖相白云岩的白云石组分  $\delta^{18}\text{O}$  变化于 $-7.54\text{‰}$ ~ $-1.39\text{‰}$  (PDB),平均 $-4.91\text{‰}$  (PDB),基本反映了湖相白云岩的特征;  $\delta^{13}\text{C}$  变化于 $-0.03\text{‰}$ ~ $10.22\text{‰}$  (PDB),平均  $3.84\text{‰}$  (PDB) (表 2),显然与湖水的咸化程度较高有关。如果进一步分析白云质灰岩、灰质白云岩以及白云岩中的方解石和白云石碳氧同位素组成,发现它们的  $\delta^{13}\text{C}$  和  $\delta^{18}\text{O}$  值也具有明显的差异,其中白云石组分的平均值分别高于方解石组分  $1\text{‰}$ 和  $3\text{‰}$ 以上,并且比纯灰岩中的值分别高出  $5\text{‰}$ 和  $2\text{‰}$ 以上。再通过 Keith 和 Weber<sup>[5]</sup>提出的盐度经验公式计算,得出研究区石灰岩、白云质灰岩和灰质白云岩中方解石组分的“Z”值变化于 115.3~138.97 之间,其中仅 3 个石灰岩样品的 Z 值小于 120,仅占样品的 20%。把样品分析得出的 Z 值进行平均后,发现白云质灰岩及白云岩中白云石组分的 Z 值比方解石组分及灰岩的 Z 值高出了 5.8%和 10.7%,泥晶灰岩的 Z 值也较颗粒灰岩的 Z

表 2 歧口凹陷碳酸盐岩碳、氧同位素及“Z”值特征

组分	岩性	样品数(个)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰) PDB/(平均)	$\delta^{18}\text{O}$ (‰) PDB/(平均)	Z值/(平均)	沉积/成岩环境
方解石	颗粒灰岩	2	-0.02~2.44/(1.21)	-9.03~-7.16/(-8.1)	122.8~128.7/(125.75)	颗粒滩
	泥晶灰岩	2	1.80~5.89/(3.85)	-8.29~-7.54/(-7.9)	125.8~126.9/(126.35)	洼地
	石灰岩	4	-3.95~1.32/(-1.76)	-8.67~-6.16/(-7.3)	115.3~123.7/(119.33)	—
	平均		0.39	-7.65	122.7	
方解石	白云质颗粒灰岩	4	-0.07~2.72/(0.61)	-11.18~-5.83/(-8.61)	122~127.3/(124.65)	颗粒滩
	白云质泥晶灰岩	2	2.49~2.71/(2.6)	-6.86~-6.61/(-6.74)	129~129.6/(129.3)	洼地
	灰质泥晶白云岩	2	1.15~8.67/(4.91)	-12.22~-7.45/(-9.84)	125.95~138.97/(132.46)	洼地
	平均		2.18	-8.45	127.57	
白云石	白云质颗粒灰岩	4	-0.03~4.98/(2.49)	-6.69~-2.44/(-4.31)	123.9~135.3/(129.6)	颗粒滩
	白云质泥晶灰岩	2	2.05~2.33/(2.19)	-7.16~-6.88/(-7.02)	128.5~134/(131.25)	洼地
	泥晶白云岩	3	3.40~10.22/(6.74)	-7.54~-1.39/(-4.31)	130.51~147.54/(138.97)	洼地
	平均		3.84	-4.91	133.36	

值高,联系其沉积—成岩环境,充分说明湖底白云石化作用发生时湖水的盐度是较高的。

#### 4 白云石化作用的影响因素

理想的白云石晶体构造中,钙、镁及碳酸根离子都位于各自的离子面,在垂直C轴的方向上交替叠积,即处于有序度为1的晶体状态。一般认为,白云石有序度高低与白云石化过程中环境的离子浓度(尤其是镁离子浓度)、温度等因素有关,且还与交代速度有关,交代迅速时有序度低,交代缓慢时则有序度相对较高。

##### 4.1 交代速度

前已述及,本区湖相白云石为低有序度白云石,说明镁离子置换钙离子的速度较快,在离子面上还来不及进行有规律的排列。低有序度的白云石,对海相白云石来说通常是同生—准同生环境才具有的特征。同生—准同生成岩环境中,成岩流体的金属阳离子丰度较高,这势必加快矿物离子交换(或晶出)的速度,使白云石晶出时间变短,从而成为有序度较低的白云石晶体。准同生期以后生成的白云石由于结晶速度慢,通常形成晶体较大的粉晶—中晶白云石。本区白云石主要为泥晶,所以应该属于同生—准同生期的产物。

##### 4.2 温度

沉积环境古温度分析常用包裹体均一化温度或用碳氧同位素组成来计算。均一化温度的准确性受沉积埋藏史和地热演化史等限制。而白云岩的碳氧同位素组成取决于引起白云石化的介质的碳氧同位素组成,并主要受到介质盐度和温度的影响。古碳酸盐岩形成后,碳同位素难以交换而使 $\delta^{13}\text{C}$ 较为稳定。黄杏珍<sup>[6]</sup>认为有利于湖相白云岩形成的气候条件为半潮湿和潮湿、较炎热的古气候。古温度计算采用公式<sup>[5]</sup>

$$t = 16.9 - 4.2(\delta^{18}\text{O}_c - \delta^{18}\text{O}_w) + 0.13(\delta^{18}\text{O}_c - \delta^{18}\text{O}_w)^2 \quad (1)$$

式中:  $t$ ——沉积环境古温度,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$\delta^{18}\text{O}_c$ ——样品在  $25^{\circ}\text{C}$  真空条件下与 100% 的磷酸反应所生成的  $\text{CO}_2$  的  $\delta^{18}\text{O}(\text{PDB})$  值;

$\delta^{18}\text{O}_w$ ——样品在  $25^{\circ}\text{C}$  条件下,所测的  $\text{CaCO}_3$  样品与其所形成的水体平衡的  $\text{CO}_2$  的  $\delta^{18}\text{O}(\text{SMOW})$  值。

笔者根据计算,研究区白云石化作用发生时的温度变化介于  $21.8\sim 36.1^{\circ}\text{C}$  间,平均为  $28.5^{\circ}\text{C}$  (表3),同属于较炎热的古气候类型。表3中白云质砂岩取样井位于孔店凸起边缘,计算温度为  $36.1^{\circ}\text{C}$ ,显然这与滨湖区暴露、炎热的浅水蒸发环境有关。何莹等<sup>[7]</sup>对塔里木盆地深埋热液白云岩计算得到的形成温度平均为  $102^{\circ}\text{C}$ ,通过对比,加之歧口凹陷白云岩的纹层特征,显示两者有着明显的差异。

表3 歧口凹陷碳酸盐岩白云石组分形成温度

岩 性	温度 ( $^{\circ}\text{C}$ )
白云质生物灰岩	26.4
白云质鲕粒灰岩	33.2
白云质砂岩	36.1
含灰质泥晶白云岩	24.6
含砂含灰质鲕粒白云岩	21.8
砂质泥晶白云岩	29.0
平 均	28.5

沙一早期,歧口凹陷的沉积在很大程度上受制于基底的沉降和气候由干热向温湿的振荡性转化。当气候干热且陆源沉积物供应减少时,发育碳酸盐沉积;若陆源物质增加,且气候温湿时,发育泥质为主的沉积。区内白云岩单层厚度小,岩性更替快,与泥质岩或灰岩呈现韵律状与纹层状互层,说明白云岩形成时明显受陆源补给、气候、水介质等条件以及湖平面振荡性变化的制约,所以才形成了这种旋回式变化的现象<sup>[6]</sup>。

##### 4.3 水体盐度及镁离子的来源

正常海水的平均含盐度为 3.5%,利用碳氧同位素值按萨胡判别的盐度公式计算  $Z$  值,大于或等于 120 为海相,小于 120 则为淡水相<sup>[5]</sup>。以含盐度 3.5% 为界,将湖泊分为咸水湖和盐湖,含盐度小于 0.1% 则为淡水湖<sup>[8]</sup>。常之瑞<sup>[9]</sup>通过对比渤海湾地区早第三纪湖平面与全球性海平面升降变化曲线,发现两者具有明显的同步性,进一步研究发现陆相油田多处有超微化石,再结合前人研究成果,他认为早第三纪时的渤海湾盆地曾与外海有过沟通。笔者的实验测试结果(表2)中有 80% 的  $Z$  值大于 120,这说明渤海湾盆地可能不时地与外海有过沟通,即有海水阶段性地进入湖盆,导致湖盆水体的盐度不断提高。同时,从上述结果中还可看出白云

石的  $\delta^{13}\text{C}$  和  $\delta^{18}\text{O}$  值均高于同层白云质灰岩中方解石组分及灰岩的  $\delta^{13}\text{C}$  和  $\delta^{18}\text{O}$  值, 说明白云岩形成时的水体盐度高于灰岩沉积时的水体盐度。可见水体盐度及  $\text{Mg}^{2+}$  离子的来源与湖水的变化及海水的补给等密切相关。

#### 4.4 白云岩成因机理

综合考虑沉积—成岩环境、白云岩及灰质白云岩的岩石学特征以及气候变迁等因素, 笔者认为研究区主要的白云石化作用发生在同生—准同生期的浅滩和洼地, 如张海 15 井、扣村、齐家务及齐家务以西的旺 11、旺 14 井等区。

当湖平面降低、气候相对干热时, 由于较强的蒸发使得空气—液面界面所处的湖水盐度增高, 表层较重的浓盐水下沉并逐渐扩散<sup>[8]</sup>。由于湖水较浅, 较重的盐水下沉到湖底, 致使滨浅湖区湖水盐度增加。盐水对白云石化作用的潜在影响主要是盐水中镁离子的分异集中可以控制白云石化矿物的饱和状态<sup>[10]</sup>。当重盐水下沉后其密度高到足以建立一个密度驱动流时, 盐水就会沿湖底向洼地方向汇流 (图7), 形成一个水平方向的向洼地倾斜的密度层。该密度层顶面的上部为补给淡水, 下部为回流的重盐水。回流的重盐水下穿过湖底表面, 透入孔隙性的灰质沉积层中导致白云石化发生。正如 Moore 等认为, 大量的白云石化流体能够有效地回流并穿过附近多孔的碳酸盐层使之发生白云石化<sup>[5]</sup>。

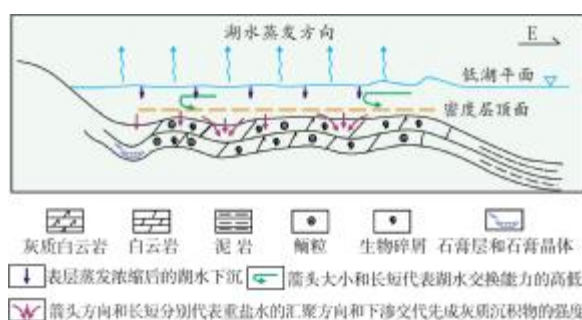


图7 歧口凹陷沙一下亚段白云石化模式

由于浪基面的深度与波浪的波长及风的吹程有关, 古新世时期歧口凹陷是渤海湾湖盆的一个海湾, 所以, 风的吹程短, 湖浪的波长也短, 因此浪基面较浅。我国现代青海湖和鄱阳湖的浪基面深度大约为  $7.5\text{m}$ <sup>[11]</sup>, 歧口凹陷的湖泊面积比青海湖及鄱阳湖要大一些, 因此浪基面也会稍深一些, 但也

远小于湖泊  $20\text{m}$  最大浪基面深度。相对于海洋而言, 湖泊太小, 极易受气候影响, 当气候相对干旱时, 湖水蒸发量大于补给量, 一方面是湖平面下降, 另一方面导致湖水表层盐度增高。湖平面下降使得原本位于浪基面附近的颗粒滩相对上升。上升后的颗粒滩接近湖面, 灰质颗粒滩沉积物的粒间孔隙发育, 因蒸发浓缩而富含  $\text{Mg}^{2+}$  的表层盐势必进入粒间孔中交代先成的灰质沉积物。美国深泉湖的同生白云岩是在沉积物—水界面处通过交代作用形成的, 其生长速度为  $0.05\sim 0.09\mu\text{m/ka}$ <sup>[8]</sup>。由于颗粒滩相对地势较高, 而且气候振荡性变化, 不利于长期、稳定地保持颗粒滩的浓盐水的供应, 致使白云石化作用不彻底, 从而多生成灰质白云岩。

湖底洼地是湖泊的局部相对较低处, 是局部重盐水汇聚的地方。重盐水下沉后, 局部区域内的较高浓度盐水由于密度大, 势必向湖底洼地汇集, 洼地内水循环较差, 有时可为局限环境, 导致洼地水体在一定时期处于盐度增高的状态。研究区的洼地分布在浅湖区内位于浅滩之间低洼的湖底区域, 其成因受基底断层控制。在洼地沉积早期, 重盐水下渗使得灰泥被交代成泥晶白云石, 其交代作用发生在沉积物界面处及界面以下一定深度, 属同生—准同生白云石化。在滨 I 油组至板 2+3 油组沉积期间, 可能有阵发性的低湖平面阶段, 气候相对干热, 颗粒滩蒸发强, 容易发生白云石化。这一时期, 不少的白云质洼地和云灰洼地都具有继承性的现象, 且继承的位置多在相对凸起的边缘附近。结合地震剖面研究发现, 这些继承性的洼地常常与同生断层的生长发育有关。

#### 5 与海相白云岩储集体的差异

从储集岩角度分析, 歧口凹陷湖相白云岩与一般的海相白云岩具有三方面的不同。

其一, 该湖相白云岩主要发育在滨湖浅滩和湖泊洼地的环境里, 由于湖平面升降变化迅速, 因而分布面积及厚度相对较小, 且与灰岩储集体及碎屑岩储集体共生, 就这类白云岩本身来说难以形成大规模油气聚集。而海相白云岩储集体主要发育在潮坪和潟湖环境中, 一般规模较大, 通常形成独立的储集体, 能形成大规模的油气聚集。

其二, 湖相白云岩储集体与烃源岩相邻, 易于油气的运移和储集; 海相白云岩一般与烃源岩相距



较远, 油气运聚相对较为困难。

其三, 由于湖相环境变化快, 白云石化作用一般不太彻底, 在纵向上与灰岩或泥岩相互交替出现, 厚度变化频繁, 平面上受洼地控制, 多呈“透镜状”或“串珠状”分布; 而海相白云岩则相对稳定, 纵向发育厚度大, 平面上多呈层状大面积分布。

## 6 结 论

(1) 歧口凹陷湖相白云岩主要为颗粒白云岩和泥晶白云岩两大类, 常与泥质岩成薄互层或与其它碳酸盐岩互层产出。有序度普遍较低, 与海相准同生白云岩有序度基本类似, 且具有富钙特征,  $Mg/Ca$  值偏离正常的化学计量值, 为快速交替的产物。

(2)  $\delta^{18}O$  值平均为  $-4.91\text{‰}$  (PDB), 反映了湖相白云岩的基本特征;  $\delta^{13}C$  值的略为偏重, 与湖水的咸化程度较高及海水的不定期补给有关;  $Z$  值所反映的湖水含盐度与  $\delta^{13}C$  值指示的环境基本吻合。

(3) 歧口凹陷古近系湖相成因白云岩形成于浅滩及湖底洼地分布区, 发育规模小, 白云石化不彻底, 与一般海相成因白云岩在岩石学、地球化学等

方面均存在一定差异, 同时在油气储集规模上次于海相成因白云岩。

### 参 考 文 献

- [1] 黄翠蓉, 张光荣, 王英华. 我国部分地区白云岩岩石矿物学研究及其意义[J]. 地质论评, 1987, 33(5): 449-460.
- [2] 张玉宾. 济阳坳陷始新统藻白云岩成岩演化探讨[J]. 石油实验地质, 1994, 16(1): 53-59.
- [3] 黄志诚, 杨守业, 陈智娜. 原生白云石与交代白云石的矿物学对比研究[J]. 中国科学(D 辑), 1996, 26(6): 544-550.
- [4] 王英华, 周书欣, 张秀莲. 中国湖相碳酸盐岩[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 1993.
- [5] 强子同. 碳酸盐岩储层地质学[M]. 东营: 中国石油大学出版社, 1998.
- [6] 黄杏珍, 邵宏舜, 闫存凤, 等. 泌阳凹陷下第三系湖相白云岩形成条件[J]. 沉积学报, 2001, 19(2): 207-213.
- [7] 何莹, 鲍志东, 沈安江, 等. 塔里木盆地牙哈—英买力地区寒武系—下奥陶统白云岩形成机理[J]. 沉积学报, 2006, 24(6): 806-818.
- [8] 赵澄林. 沉积岩石学[M]. 北京: 石油工业出版社, 2001.
- [9] 大港油田编写组. 中国石油地质志(卷一): 大港油田分册[M]. 北京: 石油工业出版社, 1986.
- [10] Jones G D, Xiao Y T. Dolomitization, anhydrite cementation, and porosity evolution in a reflux system: Insights from reactive transport models[J]. AAPG Bulletin, 2005, 89(5): 577-601.
- [11] 施成熙. 中国湖泊概论[M]. 北京: 科学出版社, 1989.

编辑: 吴厚松

## Feature of Oligocene Shahejie Lower-1st Member Lacustrine Dolostone in Qikou Depression, Bohaiwan Basin, and Difference of It from Marine Dolostone

Liao Jing, Dong Zhaoxiong, Zhai Guiyun, Zhou Liying, Fan Peng

**Abstract:** Lacustrine dolomite that develops in the Lower-1st Member of Oligocene Shahejie Formation in Qikou Depression of Bohaiwan Basin consists of grain dolostone and micrite dolostone and commonly occurs in thin interlayers with pelyte or interbeds with other carbonate rock alternately. Analysis result shows that the lacustrine dolostone has a lower order degree, which is similar with that of penecontemporary marine dolostone, but it is rich in calcium as the  $Mg/Ca$  ratio of it is deviated from the usual value, which indicates that the dolostone formed under a condition of rapid replacement. In addition, the analysis result of stable carbon isotope values and "Z" values reveal that it has high lacustrine saltness. Based on the dolomitization mechanism, an original model of Shahejie Lower 1st Member lacustrine dolostone is proposed. Contrasted with the origin mode of marine dolostone, the lacustrine dolostone is characterized of smaller distribution area and unthorough dolomitization so as to limited hydrocarbon reservoir capability.

**Key words:** Oligocene; Lacustrine dolostone; Marine dolostone; Carbonate rock origin; Qikou Depression; Bohaiwan Basin

**Liao Jing:** female, Master degree in progress at Southwest Petroleum University. Add: Southwest Petroleum University, Chengdu, Sichuan, 610500 China