

桑托斯盆地白垩系盐下Barra Velha组 叠层石灰岩沉积环境探讨

康洪全, 吕杰, 程涛

(中海油研究总院)

摘要 通过对桑托斯盆地盐下 Barra Velha 组叠层石灰岩进行岩石学、地球化学等方面的研究,提出簇状、指状和近球形叠层石是叠层石灰岩的主要组构,不同组构的发育路径可能与沉积环境有关。叠层石多呈集合体的形式发育,宏观上可见上下叠置和左右相连等组合方式,其中湖水直接沉淀的亮晶和以微生物为媒介形成的泥晶是组成叠层石灰岩的主要物质,叠层石灰岩的形成受到微生物的影响显著。叠层石灰岩中高硅、高镁含量以及正偏的碳、氧同位素特征都表明其形成于盐度较高的蒸发封闭湖盆的水体环境。叠层石灰岩中多数仅为数厘米高的叠层石集合体,表明高位水体持续时间仅在千年左右或更短,而不同高度的叠层石集合体在垂向上的频繁交替出现则表明水体深度存在频繁的波动。

关键词 桑托斯盆地; 白垩系; Barra Velha 组; 叠层石灰岩; 微生物; 沉积环境

中图分类号: TE121.3*1

文献标识码: A

1 概述

从元古代至今,微生物(包括细菌、藻类、真菌和一些原生动物)在碳酸盐沉积物中广泛分布。这些生物可以固定颗粒并提供矿物成核作用的场所,而且它们可以改造和产出沉积物,并在随后的埋藏及成岩环境中形成优质的微生物岩油气储层,因此对微生物岩的成因及形成环境的研究也成为了近年来沉积地质学领域的热点之一^[1-4]。

近年来,在南大西洋两岸盆地中发现了越来越多的叠层石灰岩储层,尤其以巴西海域的桑托斯盆地的盐下地层中所蕴含的储量最大^[4,5]。桑托斯盆地位于巴西东南部海域(西经39°30'~48°30',南纬23°~28°30'),北邻坎波斯盆地,南邻佩洛塔斯盆地(图1),盆地面积约32.7×10⁴ km²,水深0~3 200 m。桑托斯盆地盐下发育了数百米厚的白垩系Barra Velha组湖相叠层石灰岩储层,并且在盆地范围内分布十分广泛^[6]。Barra Velha组之上覆盖着巨厚的Ariri组盐层,下伏地层为Itapema组生物碎屑灰岩沉积^[7](图2)。

尽管有一些国内外学者曾对桑托斯盆地盐下的湖相碳酸盐岩储层做过一些研究工作,但他们对叠

层石灰岩成因及沉积环境的研究却尚未见到。本文结合近年来对桑托斯盆地勘探研究工作的资料与成果,采用系统的碳酸盐岩研究方法,对桑托斯盆地盐下湖相叠层石灰岩的岩石学和地球化学特征进行了分析研究,并探讨了叠层石灰岩在湖盆中的发育特征及对沉积环境的指示作用,以期能为进一步开展桑托斯盆地乃至大西洋两岸叠层石灰岩的勘探提供依据。

2 岩石学特征

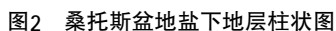
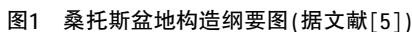
2.1 宏观特征

桑托斯盆地经历了三期构造演化阶段,分别为早白垩世欧特里夫期—早阿普特期同裂谷阶段、晚阿普特期—早阿尔布期过渡阶段和晚阿尔布期至今的漂移阶段。与三期构造演化相对应发育了三套巨厚的沉积层序,即裂谷层序、过渡层序和漂移层序。其中下部裂谷层序包括了下部的河流相、湖相碎屑岩(Picarras组)和上部的湖相碳酸盐岩(Itapema组、Barra Velha组)沉积;而过渡层序则主要为由盐岩和硬石膏组成的厚层蒸发岩(Ariri组)^[7](图2)。

收稿日期: 2017-02-13; 改回日期: 2017-12-06

本文受国家科技重大专项“西非—南美海域重点区油气地质评价及关键技术研究”(编号:2017ZX05032-001)资助

康洪全: 1969年生,高级工程师,石油地质专业,主要从事海外油气勘探方面的研究工作。通讯地址: 100028 北京市朝阳区太阳宫南街6号海洋石油大厦802; E-mail: kanghq@cnooc.com.cn



叠层石较少孤立发育,多呈集合体的形式成群成丛或成片发育,宏观上可见上下叠置和左右相连等组合方式(图4a)。图4a中,绿色虚线区域为左右相连的同期簇状叠层石集合体,红色虚线区域为后续不同期次的左右相邻和上下叠置的簇状叠层石集合

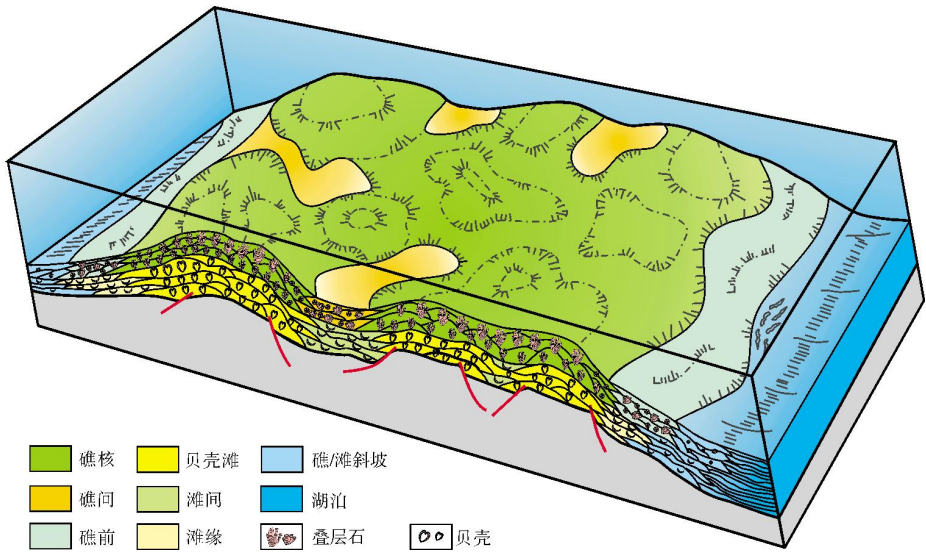


图3 桑托斯盆地盐下碳酸盐岩沉积模式

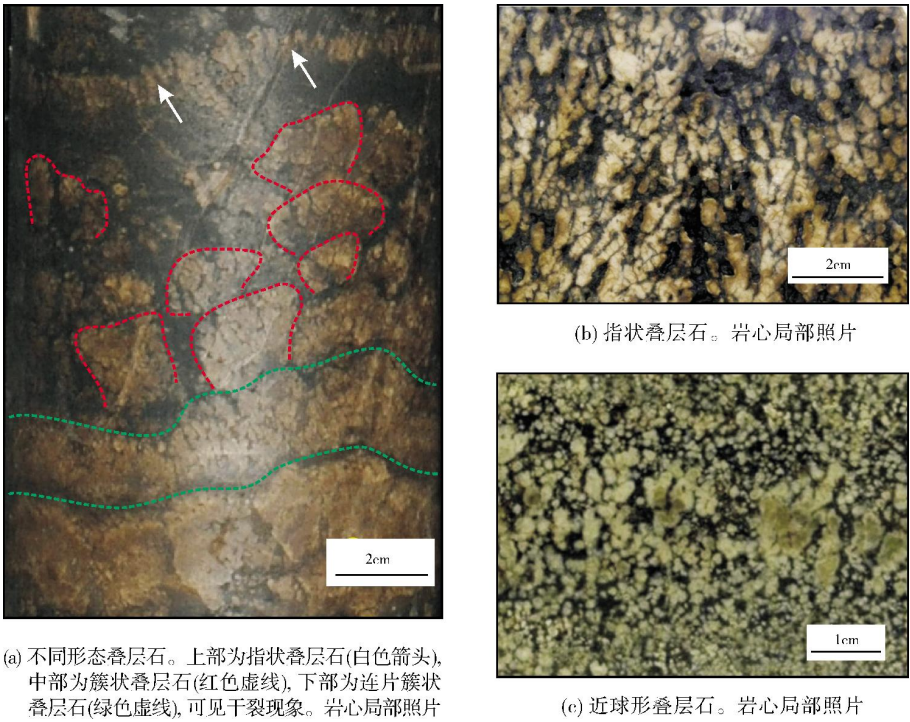


图4 桑托斯盆地盐下 Barra Velha 组叠层石灰岩岩心照片

体,而白色箭头所指区域则为指状叠层石和近球形叠层石的集合体。通过岩心观察,叠层石集合体在垂向上可达数厘米至数十厘米的高度,并可观察到垂向上不同叠层石组合的排列形式,如簇状叠层石集合体的形态自下而上变小且数量减少(图4a),指状叠层石集合体的形态自下而上由窄变宽(图4b),或

近球形叠层石的数量逐渐增加等(图4c)。叠层石在侧向上的延伸则可以覆盖整个岩心尺度,通过将桑托斯盆地叠层石的形态与全球其他地区同时代相似形态的叠层石^[8]进行对比,可以推测桑托斯盆地的叠层石侧向可延伸数米或更长。在岩心上,还可以观察到叠层石顶部发育干裂的现象(图4a)。

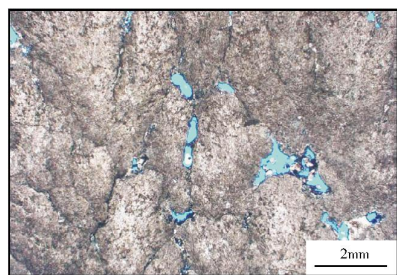
2.2 微观特征

不同类型的叠层石在显微镜下具有不同的微观结构和特征。在簇状、指状和近球形叠层石中,都可以观察到反映叠层石生长过程的微观结构。其中,簇状叠层石中具有明显的放射状生长结构(图5a),簇状叠层石集合体在正交偏光下具有明显的波状消光现象(图5b);指状叠层石中则可以观察到堆叠的层状生长结构,生长层由亮色和暗色的细纹互层组成,亮色细纹层由结晶生长而成,而暗色细纹层则由泥晶碳酸盐组成(图5c);在近球形叠层石集合体中,可以观察到明显的粒序分层(图5d)和球粒的放射状生长结构(图5e),此外,在较大的球粒中还可以观察到其内部

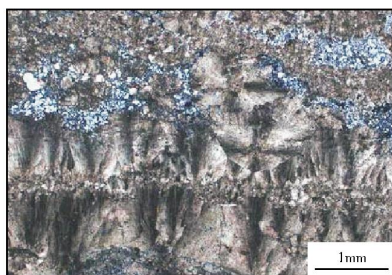
堆叠的同心纹层状生长结构(图5f),部分样品中还可以观察到明显定向的放射状生长结构(图5g)和较为罕见的呈花瓣状生长的近球形叠层石(图5h)。

基于对不同类型叠层石的微观生长结构的观察,可以发现簇状、指状和近球形叠层石在生长方式上存在密切的联系,尤其在近球形叠层石中观察到的两种生长结构,表明簇状和指状叠层石都是由近球形叠层石为原型发育而来,而发育路径则可能与其形成的沉积环境有关。

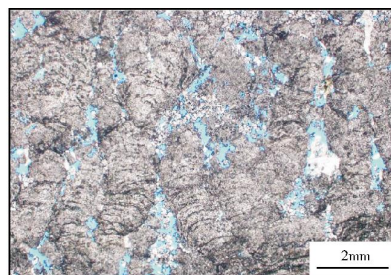
此外,在连片发育的簇状叠层石集合体的顶部,可观察到广泛发育的玉髓(图5b, 5h),并且在各类叠层石发育的样品中都未见陆源碎屑颗粒,这表明叠层石形成时未受到陆源物质的影响。



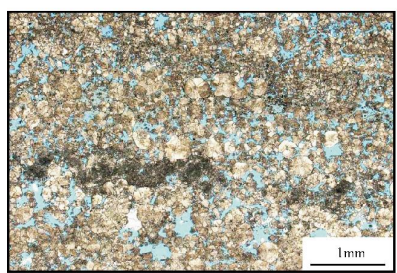
(a) 不同期次的簇状叠层石集合体。蓝色铸体薄片,单偏光



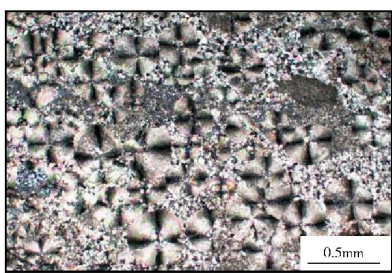
(b) 连片分布的簇状叠层石集合体,下部两层具明显波状消光特征的叠层石被一层细碎屑颗粒分隔,上部为具有不同光性特征的隐晶硅质。正交偏光



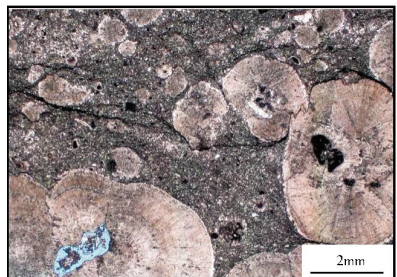
(c) 不同期次的指状叠层石集合体,枝状结构中可见明显的纹层生长结构。蓝色铸体薄片,单偏光



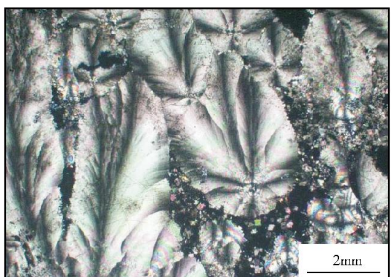
(d) 近球形叠层石集合体,可见明显的粒序分层。蓝色铸体薄片,单偏光



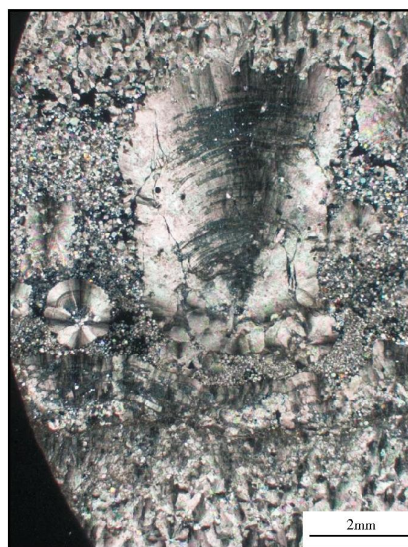
(e) 近球形叠层石集合体,放射状生长结构,可见十字消光。正交偏光



(f) 近球形叠层石集合体,同心层状生长结构,茜素红染色。蓝色铸体薄片,单偏光



(g) 近球形叠层石向簇状叠层石的过渡结构,十字消光指示定向生长。正交偏光



(h) 各类叠层石集合体的共生组合。正交偏光

图5 桑托斯盆地盐下Barra Velha组叠层石灰岩薄片显微照片

3 地球化学特征

由桑托斯盆地东部某钻井的成分曲线可以看出(图6),叠层石灰岩之中具有较高的硅含量,最高可达44%,最低也有4.8%,这与显微薄片观察到的广泛分布的玉髓是相符的。此外,硅含量在曲线上呈高

度齿化,表明含量变化较快。硅含量在曲线上存在多个高值区间。

镁在叠层石灰岩成分曲线上也呈现出整体含量较高的特点,最高可达23.6%,而理想白云石的成分中MgO含量为21.6%,表明部分样品的镁含量超过白云石,这可能指示有其他高镁矿物的存在。

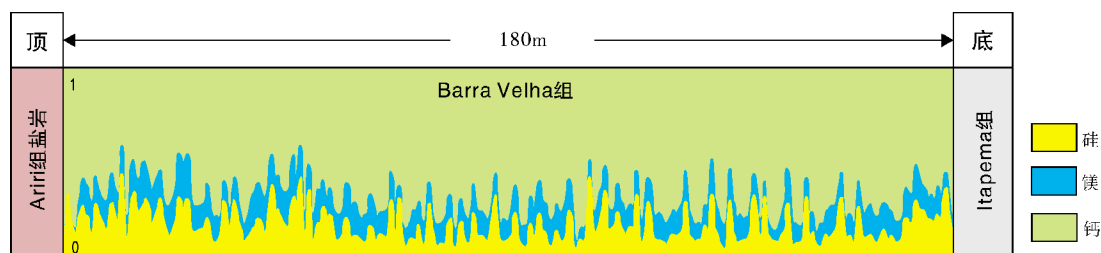


图6 桑托斯盆地东部某钻井的成分曲线

对桑托斯盆地东部某钻井叠层石灰岩段的碳氧同位素资料也分别进行了分析(图7)。其中 $\delta^{13}\text{C}$ 的数值范围是 -0.18‰ ~ 4.31‰ ,平均值为 2.56‰ ; $\delta^{18}\text{O}$ 的数值范围是 -3.66‰ ~ 4.97‰ ,平均值为 1.34‰ 。

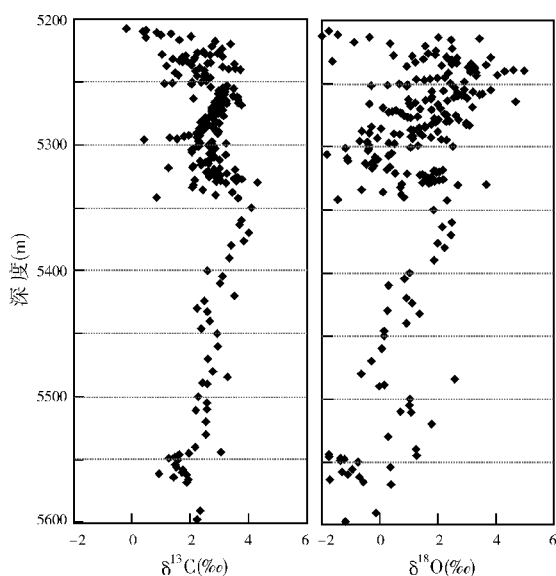


图7 桑托斯盆地东部某钻井Barra Velha组叠层石灰岩段的碳、氧同位素与深度投点图
 $\delta^{18}\text{O}$ 值小于 -2‰ 的数据点在图外

在碳、氧同位素与深度的投点图中可以看出(图7),叠层石灰岩段整体上存在着自下而上碳、氧同位素逐渐正偏的趋势,并且,在正偏的总趋势中存在两个明显的层段。第一层段自5600m开始,向上表现出碳、氧同位素的正偏趋势,碳同位素值正偏了 2‰ ~

3‰ ,而氧同位素值则正偏了 6‰ 左右,这表明环境中较轻的 ^{12}C 和 ^{16}O 的损失,且此正偏段碳和氧的同位素具有较好的正相关性(相关系数约0.75);在5350m附近正偏达到最大之后,则出现了一段碳、氧同位素的负偏,碳同位素值负偏了 2‰ ~ 4‰ ,氧同位素值负偏了 2‰ ~ 5‰ ,这表明环境中补充了较轻的 ^{12}C 和 ^{16}O ,亦或是损失了较重的 ^{13}C 和 ^{18}O 。

第二层段出现在5300m附近,碳同位素值正偏了 3‰ 左右,氧同位素值则正偏了 2‰ 到 7‰ ,可以看出,这段正偏的碳、氧同位素之间无明显相关(相关系数约0.27),也就是说,在环境中损失的 ^{12}C 和 ^{16}O 的数量产生了多寡的差异;在叠层石灰岩段顶部的5200m附近,碳、氧同位素值再次发生负偏,碳同位素值负偏了 2‰ ~ 4‰ ,氧同位素值负偏了 2‰ ~ 6‰ 。此外,在投点图中也可发现,碳同位素遵循一个较好的偏移趋势,而氧同位素的变化区域较宽。

负偏之后的层段为Ariri组盐层,未进行取样分析。

4 讨论

4.1 成岩作用的影响

尽管桑托斯盆地Barra Velha组的深度均在5000m左右,但本文研究区的水深均在1500~2000m左右,并且在碳酸盐岩地层之上均有厚度超过1000m的盐层,因此Barra Velha组整体仅处在相当于正常埋深2000~2500m的地层温度,多在 $60\sim 70\text{℃}$ 之间,因而由温度引发的埋藏成岩作用在研究区并不发育^[9]。同

时,从宏观和微观岩石学观察也可以得知,叠层石灰岩并未遭受强度足以抹除原始沉积特征的成岩改造作用,因此,可以认为成岩作用并未对叠层石灰岩的地球化学特征起到显著的影响,故本文中的一些地球化学特征在一定程度上可以代表叠层石灰岩的沉积环境特征。

4.2 叠层石灰岩的形成机制

叠层石灰岩的宏观和微观结构特征可以反映其形成机制。通过宏观和微观岩石学特征观察,可以发现叠层石灰岩是由不同期次和不同形态的叠层石集合体所组成的,而不同形态的叠层石中所表现出的生长结构可能反映了叠层石的生长演化过程:近球形叠层石具有放射状和层状两种生长结构,可能代表了叠层石的初始生长状态;而簇状和指状叠层石则可能代表了不同水体条件下叠层石的生长,其中仅具有放射状结构、波状消光的簇状叠层石指示了连续的结晶生长过程,而具有泥晶—亮晶互层结构的指状叠层石则反映了结晶生长与泥晶沉淀—捕获作用交替的过程。

但在岩石学观察中,并未在叠层石灰岩中发现由生物直接形成叠层石的证据。叠层石中的放射状生长结构更可能是经湖水化学沉淀而成,而非生物直接形成。这与Riding^[10-11]提出的叠层石中亮晶显微组构是非生物体产出的解释是一致的。当然,这里提到的“非生物体产出的”是指叠层石并非由微生物直接建造。而微生物在叠层石形成的湖泊体系之中是必然存在的,并且部分微生物与叠层石可能存在共生的关系,因此整个沉积体系是富含生命活动的。

尽管未发现生物直接形成的证据,但还是有一些证据可以表明叠层石的形成确实受到了微生物的影响。首先,微生物活动是目前已知的唯一可以形成碳酸盐泥质以形成叠层石的过程^[12],因此在指状叠层石纹层生长结构中的泥晶层可以作为微生物活动的有利证据。其次,在泥质纹层中可以发现(图5b)连片分布的簇状叠层石集合体的沉积特征^[13]。最后,叠层石灰岩中高镁含量所指示的大量泥晶白云石基质的存在,也表明沉积环境中可能发育可作为白云石形成媒介的细菌群落^[14]。

因此两种不同的生长结构是由不同的机制所形成的,具放射状生长结构和波状消光的叠层石是由湖水直接沉淀—结晶形成,而泥晶则以微生物为媒

介进行沉淀,并在之后被捕获和粘结成层。具有两种生长结构的叠层石则是湖水沉淀亮晶和微生物媒介形成泥晶这两种作用交替进行的结果。

4.3 叠层石灰岩对环境的反映

叠层石的形态特征及不同叠层石的集合体是对沉积环境的响应,因此通过对这些特征的分析,可以对湖泊的环境变化进行探讨。

尽管叠层石的生长速率是难以精确厘定的,但是通过对其生长速度的推测,则有助于更好地理解湖平面的短期波动。不同研究者基于¹⁴C和U同位素测试,对全新世湖相叠层石的生长速率做过研究:在弱碱度的淡水湖中,叠层石的生长速率为每100年生长2.5~5 mm(加拿大Pavilion湖^[15]);在中等碱度的开阔湖泊中,为每100年生长5~8 mm(东非Tanganyika湖^[16]);在封闭的碱性湖泊中,为每100年生长6.6~39 mm(美国Walker湖^[17])。可以看出不同水体环境下叠层石的生长速率有所差别,但是,这些研究都一致认为叠层石的良好发育需要相对稳定的高位水体。单株叠层石或单层叠层石集合体的高度,代表了高位水体的持续时间。因而,桑托斯盆地Barra Velha组总体发育较为低矮的叠层石集合体(通常仅为数厘米),表明高位水体持续时间较短,按照前人研究的叠层石生长速度,推测高位水体持续时间仅在千年左右或更短,而不同高度的叠层石集合体在垂向上的频繁交替出现,更是表明水体深度存在频繁的波动。

此外,叠层石集合体在平面上的分布范围也可以作为判断湖侵作用持续时间的指标。但本次研究因受到桑托斯盆地盐下无野外露头而仅有少量钻井资料的限制,故仅能进行初步的推测。根据本次研究中所观察到的现象与前人对湖相微生物岩露头的研究^[8],可以推测桑托斯盆地的叠层石灰岩侧向应该仅在数米的范围内,且较为分散地不连片分布,这表明湖侵作用短暂且局限。

叠层石集合体中基质数量的增加、高度/厚度的降低及叠层石由连片向分散发育这几类情况的连续出现(图4),并非反映水体逐步加深的高位期,而是反映湖平面低位时期的沉积环境。岩心观察中发现的干裂现象(如图4a)也表明低位期近地表暴露作用的存在。

由于碳酸盐岩中的氧同位素组成可以在一定程

度上反映其形成时的流体性质,加之桑托斯盆地盐下叠层石灰岩地层并未经历高温埋藏作用,因此可以认为氧同位素的变化程度可以反映沉积环境中流体性质的变化。在湖泊环境中,由于蒸发过程的同位素动力学效应,在水的蒸发过程中,蒸发相富集轻氧,因而其 $\delta^{18}\text{O}$ 值相对较小,与之有关的大气水的 $\delta^{18}\text{O}$ 值也相对较小。而蒸发残留相则富集重氧,因而其 $\delta^{18}\text{O}$ 值也相对较大,与之有关的湖水,尤其是经蒸发浓缩的湖水的 $\delta^{18}\text{O}$ 也相对较大。前人对此也有较多的研究,Sibley^[18]和Land^[19]都曾报道过高盐度的蒸发水体沉积了具有较高 $\delta^{18}\text{O}$ 值(2‰~4‰)的碳酸盐岩。因此,结合前述讨论中低位时期较为持续的证据,以及桑托斯盆地具有较正偏的 $\delta^{18}\text{O}$ 的特征,基本可以确定叠层石灰岩是由盐度较高的蒸发水体所形成,湖水的蒸发作用大于降水和径流补给的作用是造成蒸发水体环境的主要因素。此外,叠层石灰岩的沉积期处于构造活动相对平静的热沉降期,因此导致蒸发作用占据主导的最大可能应为气候条件的变化。

而且,在碳、氧同位素与深度的投点图中(图7)所表现出的共同正偏的趋势也代表了蒸发封闭湖盆的趋势,尤其在第一层段碳、氧同位素正偏时,两者之间良好的正相关性表明了这一点。但是之后的负偏应该与外部水体的注入有关,水体来源有三种可能:(1)大气降水;(2)侵入湖盆的海水;(3)地表径流的注入。但在同位素负偏时期的地层中,并未见到与叠层石灰岩伴生的陆源碎屑夹层,因此地表径流的注入可以被排除,所以推断大气降水和海水侵入可能是导致碳氧同位素负偏的主要因素。但是大气降水是否可以具备足够的规模来改变连续地层中的氧同位素特征,还需要进一步研究落实。此前Piovesan等^[20]和Poropat等^[21]对巴西海域白垩系生物地层学的研究则表明微生物岩沉积期曾发生过海水的侵入作用。

5 结 论

(1)桑托斯盆地盐下Barra Velha组叠层石灰岩主要由不同形态的叠层石组成,其中簇状、指状和近球形叠层石为主要类型,且多呈集合体的形式成群、成丛或成片发育,宏观上可见上下叠置和左右相连等组合方式。簇状和指状叠层石都是由近球形叠层石为原型发育而来,而发育路径则可能与其形成的

沉积环境有关。

(2)桑托斯盆地盐下Barra Velha组叠层石灰岩多数为仅数厘米高的叠层石集合体,表明高位水体持续时间较短,仅在千年左右或更短。而不同高度的叠层石集合体在垂向上的频繁交替出现则表明水体深度存在频繁的波动。同时,侧向延伸仅数米的集合体则表明湖侵短暂且局限。

(3)桑托斯盆地盐下Barra Velha组叠层石灰岩的形成受到微生物的显著影响。其中具放射状生长结构的叠层石系由湖水直接沉淀—结晶而成,泥晶则以微生物为媒介而沉淀,并在之后被捕获和粘结成层。具有两种生长结构的叠层石是湖水沉淀亮晶和以微生物为媒介形成泥晶这两种作用交替进行的结果。

(4)桑托斯盆地盐下Barra Velha组叠层石灰岩具有高硅、高镁的元素特征,以及总体具有正偏趋势的碳、氧同位素特征,部分碳、氧同位素正偏的层段中具有良好的相关性,表明叠层石灰岩是由盐度较高的蒸发封闭湖盆水体所形成。碳、氧同位素的正偏和负偏分别对应蒸发主导和海水补给主导的时期。

参 考 文 献

- [1] Riding R. Classification of microbial carbonates[M]// Riding R. Calcareous algae and stromatolites. Berlin: Springer, 1991: 21-51.
- [2] Leinfelder R R, Schmid D U. Mesozoic reefal thrombolites and other microbolites[M]// Riding R, Awramik S M. Microbial sediments. Berlin: Springer, 2000: 289-294.
- [3] Riding R, Awramik S M. Preface[M]// Riding R, Awramik S M. Microbial sediments. Berlin: Springer, 2000: i.
- [4] 邓超,白国平,仲米虹,等.巴西桑托斯盆地含油气系统划分与评价[J].海相油气地质,2014,19(3):35-42.
- [5] 康洪全,程涛,李明刚,等.巴西桑托斯盆地油气成藏特征及主控因素分析[J].中国海上油气,2016,28(4):1-8.
- [6] Santos E D, Ayres H F, Pereira A, et al. Santos microbial carbonate reservoirs: A challenge[C]. Offshore Technology Conference, October 29-31, 2013, Rio de Janeiro, Brazil.
- [7] IHS Basin Monitor. Santos Basin [R]. 2012.
- [8] Bochacs K M, Lamb-Wozniak K, Demko T M, et al. Vertical and lateral distribution of lacustrine carbonate lithofacies at the parasequence scale in the Miocene Hot Spring limestone, Idaho: An analog addressing reservoir presence and quality [J]. AAPG Bulletin, 2013, 97(11): 1967-1995.
- [9] Jones G D, Xiao Yitian. Geothermal convection in South Atlantic subsalt lacustrine carbonates: Developing diagenesis and reservoir quality predictive concepts with reactive transport models [J]. AAPG Bulletin, 2013, 97(8): 1249-1271.

- [10] Riding R. Abiogenic, microbial and hybrid authigenic carbonate crusts: Components of Precambrian stromatolites[J]. *Geologia Croatica*, 2008, 61(2): 73-103.
- [11] Riding R. The nature of stromatolites: 3500 million years of history and a century of research[M]// Reitner J, Queric N V, Arp G, et al. *Advance in Stromatolite Geobiology*. Berlin: Springer, 2011: 29-74.
- [12] Frantz C M, Petryshyn V A, Marengo P J, et al. Dramatic local environmental change during the Early Eocene Climatic Optimum detected using high resolution chemical analyses of Green River Formation stromatolites [J]. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2014, 405(3): 1-15.
- [13] Alonso-Zarza A M, Tanner L H. Carbonates in continental settings: Facies, environments, and processes[M]. Netherlands: Elsevier, 2010: 1-48.
- [14] Vasconcelos C, McKenzie J A, Bernasconi S, et al. Microbial mediation as a possible mechanism for natural dolomite formation at low temperatures[J]. *Nature*, 1995, 377(6546): 220-222.
- [15] Laval B, Cady S L, Pollack J C, et al. Modern freshwater microbialite analogues for ancient dendritic reef structures [J]. *Nature*, 2000, 407(6804): 626-629.
- [16] Casanova J, Hillaire-Marcel C. Late Holocene hydrological history of Lake Tanganyika, East Africa, from isotopic data on fossil stromatolites[J]. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 1992, 91(1/2): 35-48.
- [17] Petryshyn V A, Corsetti F A, Berelson W M, et al. Stromatolite lamination frequency, Walker Lake, Nevada: Implications for stromatolites as biosignatures[J]. *Geology*, 2012, 40(6): 499-502.
- [18] Sibley D F. Unstable to stable transformations during dolomitization[J]. *Journal of Geology*, 1990, 98(5): 739-748.
- [19] Land L S. The application of stable isotopes to studies of the origin of dolomite and to problems of diagenesis of clastic sediments[M]//Arthur M A, Anderson T F, Kaplan I R, et al. *Stable Isotope in Sedimentary Geology*. SEPM Short Course Note 4, 1983: 1-22.
- [20] Piovesan E K, Nicolaidis D D, Fauth G, et al. Ostracodes from the Aptian-Santonian of Santos, Campos and Espirito Santo basins, Brazil[J]. *Journal of South American Earth Sciences*, 2013, 48(12): 240-254.
- [21] Poropat S F, Colin J P. Early Cretaceous ostracod biostratigraphy of eastern Brazil and western Africa: An overview[J]. *Gondwana Research*, 2012, 22(3/4): 772-798.

编辑:黄革萍

Depositional Environment of Stromatolitic Limestone of Pre-salt Barra Velha Formation in Santos Basin, Brazil

Kang Hongquan, Lü Jie, Cheng Tao

Abstract: By using lithological and geochemical methods, the depositional environment of stromatolitic limestone of pre-salt Barra Velha Formation in Santos Basin, offshore Brazil, was analyzed. It is concluded that the dominating fabric of stromatolitic limestone consist of shrub, finger-like and spherulitic stromatolites, which relate to depositional environment evolutionarily. From a macroscopic view, many stromatolites occur in aggregation with overlaid and adjacent pattern. The main constitution of stromatolite are made of sparry calcite precipitated directly from lake water and microbial-mediated micrite. The stromatolites, although not produced by microorganism directly, are influenced significantly by microorganism. That the high contents of magnesium and silicon, and the positive depletion in carbon and oxygen isotopes, which have been measured from stromatolitic samples, indicate a saline environment with intensive evaporation, mirroring a closed lacustrine system. Stromatolite aggregates with several centimeters in height are widespread, which implies the depth of water favored stromatolite growth did not last long, perhaps on a millennium scale or even shorter, and that stromatolites grown with different and alternate height vertically shows that the frequent fluctuation in water depth was common during that period.

Key words: Stromatolite; Depositional environment; Microorganism; Barra Velha Formation; Cretaceous; Santos Basin

Kang Hongquan; Senior Engineer, major in petroleum geology. Add: CNOOC Plaza Building A, No. 6 Taiyanggong Nan Street, Chaoyang District, Beijing 100028, China