

## 四川盆地东部中二叠统茅口组 台内藻礁沉积特征

罗冰<sup>1</sup>, 王文飞<sup>2,3</sup>, 陈韵骐<sup>2,3</sup>, 肖笛<sup>2,3</sup>, 程遥<sup>2,3</sup>,  
李爽<sup>4</sup>, 徐发波<sup>4</sup>, 谭秀成<sup>2,3</sup>

(1 中国石油西南油气田分公司勘探开发研究院; 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 西南石油大学地球科学与技术学院; 4 中国石油西南油气田分公司重庆气矿)

**摘要** 四川盆地东部月005-H1井发现了中二叠统茅口组三段中发育的小型台内藻礁。岩心分析表明,该生物礁以藻格架灰岩为主,造礁生物以叶状藻为主、见少量苔藓虫,含蠕类、非蠕有孔虫、腕足类、双壳类、海百合、棘皮类等附礁生物,藻片之间沉积有灰泥和少量生物碎屑。礁体纵向上发育两个较为完整的旋回,每个旋回发育四个成礁阶段,单个旋回厚度约1.5m,每个旋回发育四个礁阶段,并可划分出礁基、礁核、礁盖(基)等亚相类型。认为该生物礁的形成与峨眉地裂运动引起的基底正断活动有关,形成于“堑—垒”构造格局的浅水型碳酸盐岩断隆之上。推测该类藻礁灰岩可能与茅口组古风化壳岩溶型储层关系密切。

**关键词** 四川盆地; 茅口组; 生物礁; 礁灰岩; 沉积特征

**中图分类号**: TE121.3 **文献标识码**: A

近年来,上扬子地区川滇黔桂湘一带有大量的上二叠统长兴组生物礁的报道<sup>[1-3]</sup>,并相继在川东和川东北的上二叠统长兴组发现了一系列礁型气藏<sup>[4-7]</sup>。长兴组生物礁主要是台地边缘礁及少量台内点礁,主要造礁生物以海绵为主,形成海绵骨架岩,附礁生物以棘屑、腕足、腹足、有孔虫、苔藓虫为主<sup>[1]</sup>。在中二叠统,除在上扬子台地边缘的南盘江一带见有生物礁外<sup>[8]</sup>,赵锡奎等<sup>[9]</sup>在贵州织金独店子周缘发现了茅口组二段的由珊瑚(尹泼雪珊瑚形成抗浪格架)、海绵(钝管海绵,纤维海绵、小卫根海绵等)建造形成的台内生物礁,而发育于贵州紫云地区的台地边缘叶状藻礁则形成于晚石炭世<sup>[10-11]</sup>,其他至今还鲜有茅口组藻礁的报道。笔者通过对川东地区月005-H1井钻孔取心的分析,发现该井的中二叠统茅口组三段中发育由叶状藻(或荷叶藻)建造形成的藻格架礁,并进而探讨了该类型生物礁的特征、发育阶段和沉积模式。这一发现,将丰富上扬子地台内部茅口组沉积相的内容,对四川盆地中二叠统天然气的勘探也有指示意义。

### 1 生物礁剖面概况

四川盆地是受多期和多向的深断裂活动所形成的、由褶皱和断裂围限起来的、呈菱形的构造-沉积盆地<sup>[12-13]</sup>。在中二叠世茅口期主要沉积了一套扬子稳定克拉通内浅海碳酸盐岩地层,岩性主要为深灰色厚层泥晶生物碎屑灰岩、浅灰色泥粉晶灰岩、亮晶生物碎屑灰岩,含燧石结核或硅质岩薄层,一般厚50~600m<sup>[14]</sup>。根据岩性变化特征和旋回地层学理论,茅口组由下至上可划分为四段。受东吴运动强烈抬升的影响,茅口组上部地层在盆地内普遍遭受剥蚀。

本次研究的区域位于四川盆地东部的高陡断褶带(图1),区内断裂带异常发育,主要有铜锣峡、明月峡、黄泥堂等深大断裂以及伴生的次级断裂。已有研究认为该区以开阔台地相沉积为主<sup>[15-16]</sup>,主要沉积了一套深灰色泥晶生物碎屑灰岩、浅灰色亮晶生物碎屑灰岩、藻格架礁灰岩(本项研究首次发现),顶部为与上二叠统龙潭组呈不整合接触的含燧石结核

收稿日期: 2013-12-17; 改回日期: 2014-04-28

本文受中国石油科技创新基金项目(编号 2011D-5006-0105)和国家重点基础研究发展计划(973计划)(编号: 2012CB214803)资助

罗冰: 1982年生,博士,工程师。2011年毕业于西南石油大学矿产普查与勘探专业,从事四川盆地天然气地质研究工作。通讯地址: 610041 四川省成都市高新区天府大道北段12号; E-mail: lb2001@petrochina.com.cn

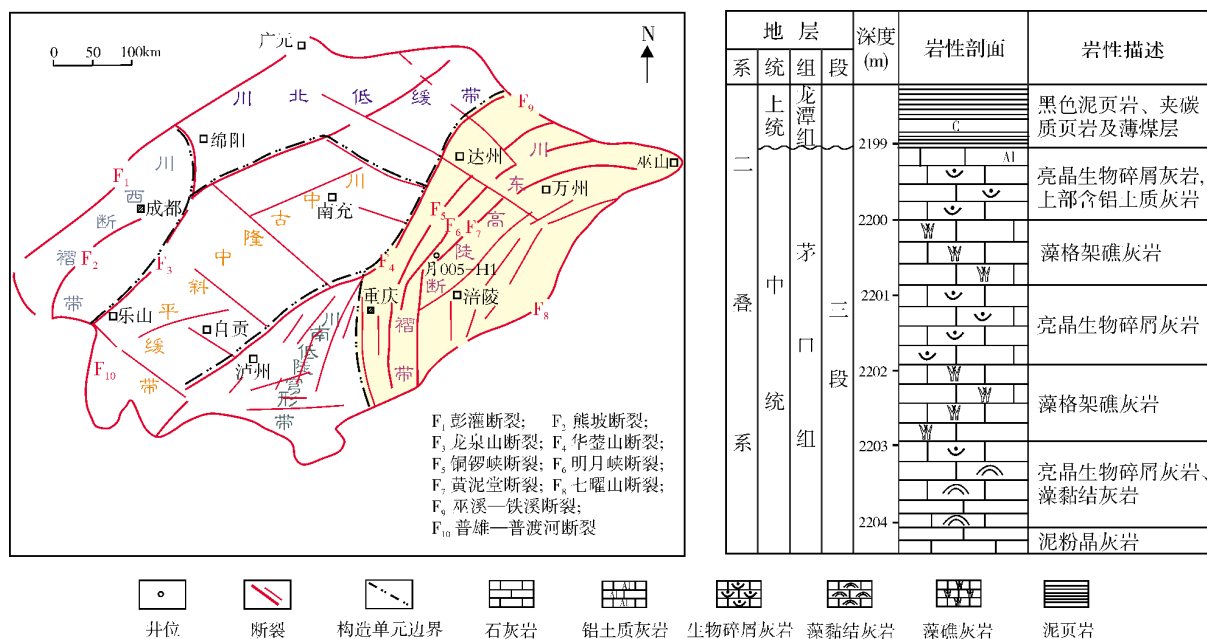


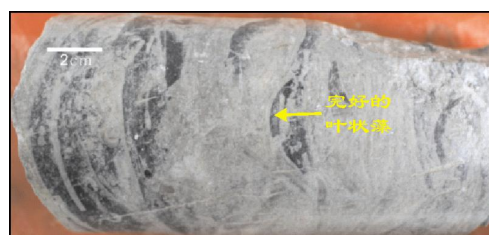
图1 四川盆地中二叠世区域构造划分及月005-H1井生物礁剖面岩性柱状图

和铝土质灰岩。

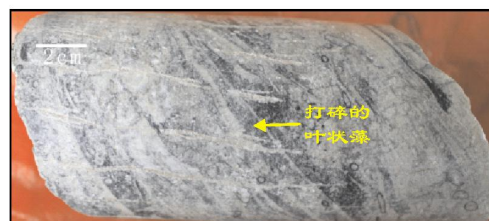
本区茅口组顶部地层剥蚀较为普遍,仅局部残留茅口组四段。本次研究的月005-H1井生物礁剖面的地理位置位于重庆市垫江县,构造上位于明月峡构造。钻孔取心段为2 189.76~2 206.65m,共计16.89m,按照厘定的地层划分标准,该段剖面属于中二叠统茅口组三段,之上缺失茅口组四段。通过岩心的详细观察发现:剖面的下部主要以开阔海潮下低能沉积为主,主要为泥晶灰岩、泥晶生物灰岩、泥质灰岩类沉积;往上,颗粒的组分含量增多,出现以泥晶颗粒灰岩、藻格架灰岩、泥晶生物碎屑灰岩类为特征的礁滩体沉积组合;剖面的上部为含铝土质泥灰岩,与上覆龙潭组含碳质泥页岩地层呈不整合接触(图1)。本文所报道的藻格架礁剖面发育于井下2 199.65~2 203.97m段,共计4.32m。礁体的规模不大,但具有比较完整的发育阶段,下面将详细描述该段生物礁剖面的岩石学、沉积学特征以及沉积演化模式。

## 2 生物礁剖面岩石学特征

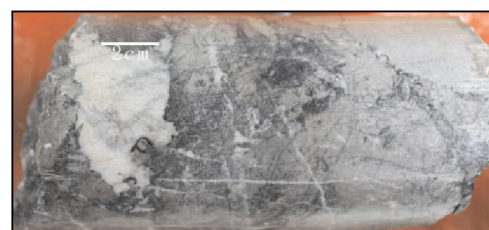
川东地区藻礁剖面为一套开阔台地内部的浅灰色、灰褐色块状灰岩沉积,包括高渗透性的藻格架灰岩和致密的藻黏结灰岩(图2a—2c)。生物碎屑含量很高,生物类型也较为丰富,根据镜下的观察可识别



(a) 高渗透性藻格架灰岩。叶片状藻类发育较好,藻片保存较完整,成层分布。2202.75~2203.89m,岩心



(b) 高渗透性藻格架灰岩。叶状藻片被打碎,杂乱分布,发育藻格架孔。2200.06~2200.18m,岩心



(c) 藻黏结灰岩。岩性致密。2203.00~2203.13m,岩心

图2 四川盆地东部月005-H1井中二叠统茅口组三段礁灰岩类型特征



出:藻类、蠕类、非蠕有孔虫、腕足类、双壳类、海百合、棘皮类及少量苔藓虫,均为正常海相底栖生物。其中,主要造礁生物以叶片状藻类为主,形成以藻格架为明显特征的抗浪构造,另外还有少量苔藓虫和球粒、似球粒等共同构成礁骨架的主要分子;附礁生物以蠕类、非蠕有孔虫、腕足类、双壳类和棘皮类为主,其遗骸是礁体的主要沉积物来源。根据岩心宏观观察,叶状藻片之间沉积有颗粒较小的其他生物碎屑和大量的灰泥(图2a,2b)。显微镜下观察,叶状藻片的内部结构保留不完整,多被方解石交代充填或发生泥晶化;除了形成礁格架的叶状藻及可观察到的丰富的附礁生物以外,其他的碳酸盐岩颗粒还有球粒、似球粒、藻团块及一些不明颗粒。现将各种生物颗粒组分的特征叙述如下。

## 2.1 生物碎屑

藻类 是主要的造礁生物,它也是本剖面的主要生物碎屑类型,岩心宏观上观察呈叶片状(图 2a,2b),大小不均,有的成层稳定分布,保存较好;有的杂

乱分布,甚至被打碎破坏,无定形。这表明该类藻的生长受到相对海平面变化的影响。藻片之间障积有大量灰泥和较小的生物碎屑,这说明在叶状藻礁生长过程中,周围的水体动能也不会太高。显微镜下观察(图3a,3b),藻片呈叶片状,保存完整,厚约0.3~0.7mm,其内部结构已被方解石交代充填而无法辨认,边缘也被方解石胶结。藻片之间还能识别出蠕类、非蠕有孔虫、双壳类等生物碎屑,以及障积的大量灰泥类物质。另外,在剖面中还出现了一些其他藻类(可能是绿藻或红藻)黏结灰泥形成的藻黏结灰岩(图2c),这反映了一种相对较低能的水动力环境。关于叶状藻和其它藻类之间的关系尚有待探究。

蠕类 是一种重要的附礁生物,它在剖面中分布较为广泛。显微镜下薄片观察,蠕类(图 3a—3c)多数较为完整,少数破碎,并不同程度地泥晶化,平均粒径0.1~1mm。蠕的形态多样,有的呈纺锤形,有的呈近圆形或椭圆形。此外,常伴随蠕类产出的还有非蠕有孔虫,其种类丰富,但是个体均较小,含量也少于蠕类(图 3b—3f)。

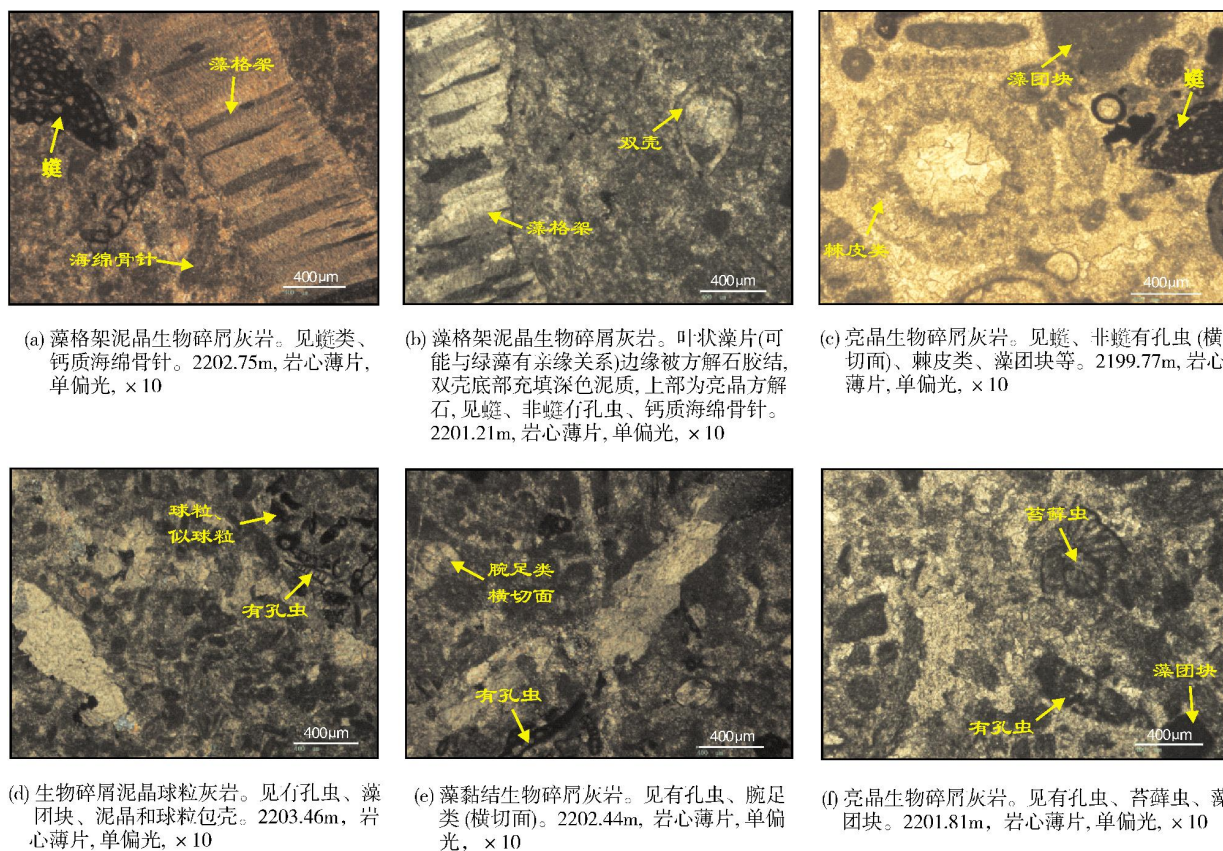


图3 四川盆地东部月005-H1井中二叠统茅口组三段礁灰岩中的生物、颗粒特征

腕足类 为附礁生物,在剖面中少见,产于剖面中下部的泥晶生物碎屑灰岩中。同时可见数量较多的有孔虫。从外部形态上看(图 3e),它们属于石燕贝目的腕足动物,壳体内部已完全被方解石交代充填,故特征不明显。

双壳类 为附礁生物,在剖面中亦少见,产于剖面中上部的藻格架灰岩中。图 3b 所示的双壳类由于蚀变作用,所有的变余壳内结构都已经消失,颗粒的识别只能借助于微晶外壳所勾勒出的特征性形状(具有明显铰合构造的对称壳)。壳体内下部沉积泥晶碳酸盐岩类,上部为亮晶方解石,构成示顶底构造。图中还可见栗孔虫(一种有孔虫),由于其原始介壳成分为高镁方解石,它们的壳壁构造比软体动物保存得要好。

棘皮类 为附礁生物,在剖面中少见,产于剖面上部的亮晶生物碎屑灰岩中(图 3c),平均粒径 0.2~1.6 mm,内部结构由于方解石的交代充填,已无法识别,但它们仍具有该类生物的单消光特征。

苔藓虫 为造礁生物,在剖面中少见。根据其外部形态(图 3f),可能为变口目,产于剖面中下部的亮晶生物碎屑灰岩中,同时伴有有孔虫、藻团块产出。

## 2.2 球粒、似球粒

球粒、似球粒在本剖面中较为多见,主要分布于剖面下部的能量相对较低的泥晶生物碎屑类灰岩中,多与藻碎屑一起发育,它们是由于磨蚀而产生的生物颗粒、灰泥球粒及藻球粒(图 3d)。形状不规则,大小不一,平均粒径 0.04~0.2 mm,围绕被淋滤的颗粒发育泥晶和球粒包壳,这种现象在二叠系较为普遍<sup>[17]</sup>。

## 2.3 藻团块

藻团块见于剖面的中上部及顶部,分布于能量相对较高的亮晶生物碎屑类灰岩中(图 3c, 3f)。一般由藻类黏结生物碎屑(如蠕屑等)形成,平均直径 0.2~0.6 mm,形状多呈圆形团块状,也有的呈长条形、不规则形状。由于强烈的泥晶化作用,使得其内部结构不明显。藻团块的这种沉积特征指示了一种能量不是太高的浅水环境。

## 2.4 其他颗粒

除了以上描述的颗粒类型外,在剖面中还可以见

到一些未知类型的颗粒。这些颗粒分布较广(图 3c),显微镜下观察,其形状多样,呈囊状、椭球形、圆环状等,形态大多不规则,内部多被微晶方解石充填,边缘为亮晶方解石,也有的内部被亮晶方解石充填,而边缘为泥晶环。

## 3 生物礁剖面的沉积相划分及沉积模式

川东地区中二叠统茅口组以开阔台地沉积为主,本区的礁剖面属于开阔台地内的台内生物礁相。根据剖面宏观、微观的岩石学和生物组合特征,垂向上该礁剖面可进一步划分出礁基、礁核和礁盖(基)等亚相(图 4)。

礁基亚相 礁基亚相是生物礁赖以固着生长的基础,主要由生物碎屑滩微相组成。宏观的岩心观察表明,它们主要是由泥晶生物碎屑灰岩及少量藻黏结灰岩组成的,藻类不发育,岩性较致密,代表着水动力条件比较稳定,能量不是很高;显微镜下可观察到大量的生物碎屑,主要是蠕类、非蠕有孔虫等,可见藻黏结灰岩、以及围绕被淋滤颗粒发育的泥晶和球粒包壳(图 3d),同时随着能量的升高,还可见少量的藻团块。

礁核亚相 礁核亚相位于单个礁体旋回的中心部位,为礁体的主要组成单元,是礁体中能够抵抗波浪作用的部分。本文报道的藻格架礁就是以聚集生长的叶片状藻类作为主要造礁生物而在生物碎屑滩底座上发育的。从岩心的宏观上观察,叶片状藻类生长最好,叶片整体规模相对较大,保存完整,一般成层分布,定向性较好,叶片状藻叶之间障积了大量的灰泥及小的生物碎屑,同时还可观察到未被方解石和渗流粉砂完全充填的藻格架孔(图 5a)。显微镜下的微观特征也表明,这一阶段叶状藻片发育最好,保存也最为完整,虽然内部结构已被微晶方解石交代充填,但是整体轮廓清晰可辨,同时其他附礁生物含量也较丰富,能够识别出蠕类、非蠕有孔虫、双壳类及钙质海绵骨针(图 3a, 3b)。

礁盖(基)亚相 礁盖亚相处于单个生物礁生长旋回的顶部。一般是指特大低潮时部分或全部外露的、由死亡的生物礁岩组成的宽阔平地,沉积水体较浅(0~3m)<sup>[18]</sup>。在本剖面中礁盖是一套以生物碎屑滩为主体的沉积,岩石类型主要是泥晶生物碎屑灰岩及亮晶生物碎屑灰岩(图 5b)。岩心观察表明,这一时期叶状藻已停止生长,在单个旋回的顶部藻类分



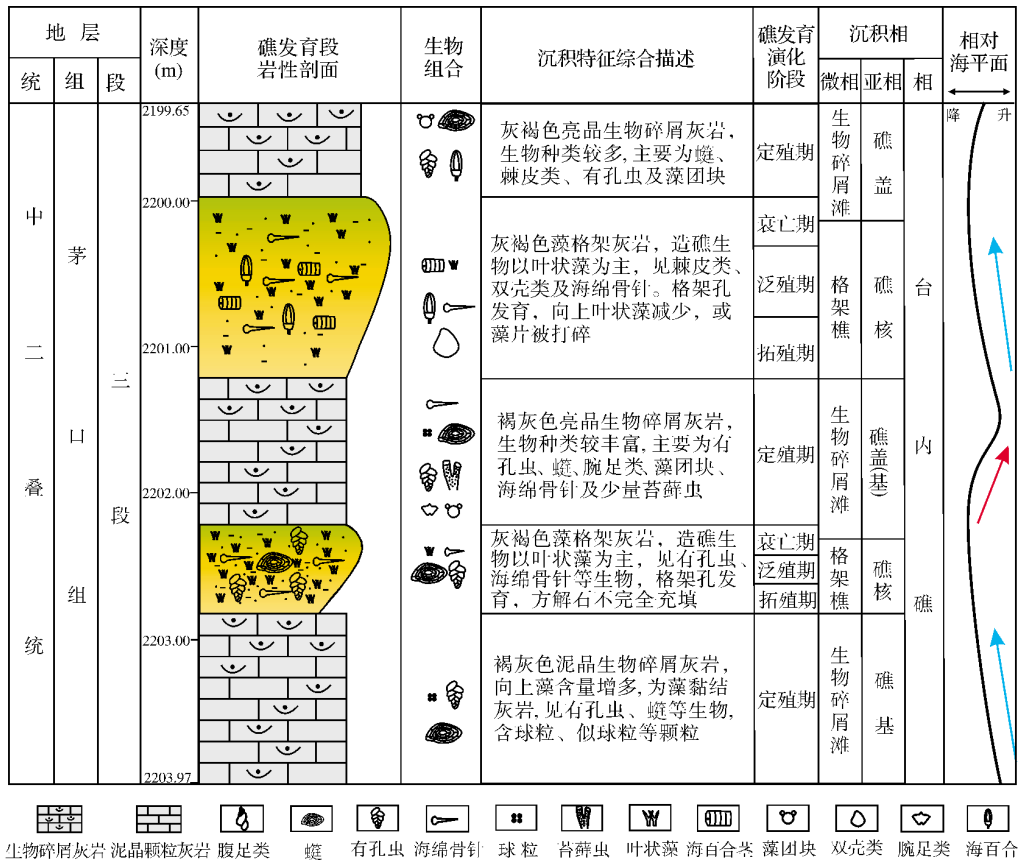
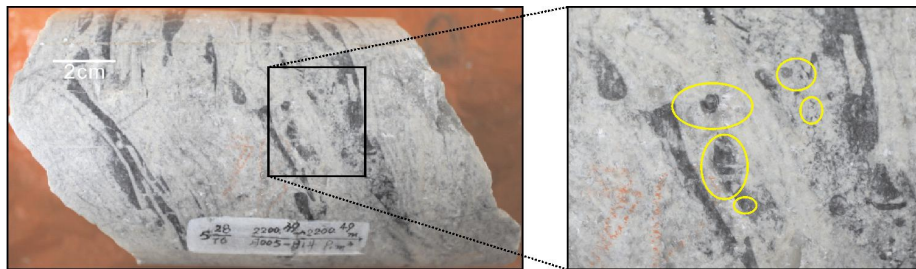
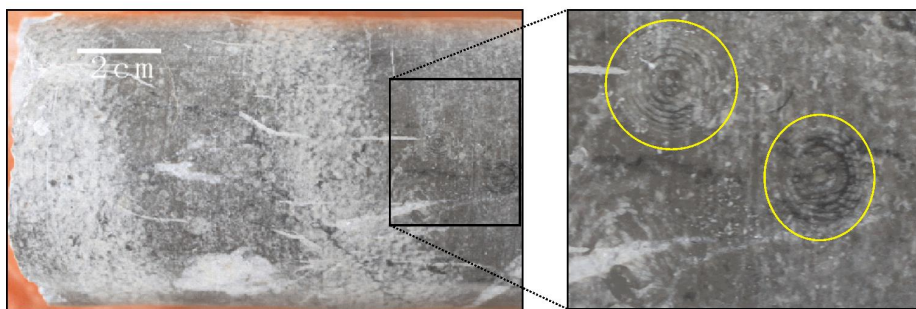


图 4 川东地区中二叠统茅口组三段台内礁沉积相划分及发育演化阶段示意图



(a) 高渗透性藻格架灰岩。叶片状藻类发育较好, 发育藻格架孔。2200.39 ~ 2200.49m。右图: 黄圈内为藻格架孔, 被方解石、渗流粉砂等不完全充填



(b) 亮晶生物碎屑灰岩。2199.25 ~ 2199.39m。右图: 黄圈内为瓣

图 5 川东地区月 005-H1 井中二叠统茅口组三段礁灰岩及生物碎屑岩特征

布混杂,无定形,藻片很难完整保存,大多呈碎片状,表明此时受相对海平面进一步下降的影响,礁体顶部处于浪基面附近,叶状藻片含量减少或被打碎破坏。镜下微观特征也证实这一时期主要是以亮晶生物碎屑灰岩沉积为主,见球粒、似球粒及藻团块等颗粒,说明此时为动荡的、能量相对较高的水体环境。镜下同时还可见到蠕类、非蠕有孔虫、腕足类、少量苔藓虫及棘皮类等生物碎屑(图 3c, 3e, 3f)。

生物礁通常与生物碎屑滩呈多个旋回发育,部分情况下,单个的生物碎屑滩既是上部礁体的礁基,同时又是下部礁体的礁盖。生物礁的生长发育旋回,受到相对海平面升降的影响较大,相对海平面的频繁升降,改变了相应的生物组合,并影响了叶状藻礁的发育。

图 6 是本生物礁剖面的一个简单沉积模式:在

开阔潮下环境中,海平面较高,水动力条件较弱,此时主要以低能泥灰岩、泥粉晶灰岩沉积为主;随着相对海平面的下降,水动力逐渐增加,在温暖的、水动力适中的环境中,各种海相底栖生物大量出现,所形成的生物碎屑滩为叶状藻礁的生长提供一个良好的基底;随着相对海平面的再次下降,在中等弱动荡的水动力条件下,叶状藻开始大量发育,此时是礁体的主要建造时期;之后随着相对海平面的继续下降,进入了一个水体动荡、能量较高的浅水环境,此时叶状藻已不适宜生长,在浪基面附近被打碎破坏,而适合这种高能环境的生物开始大量出现,形成生物碎屑滩沉积;再之后随着相对海平面的再次升高,进入了一个温暖的、中等动荡的水动力环境,使得叶状藻礁再次发育。

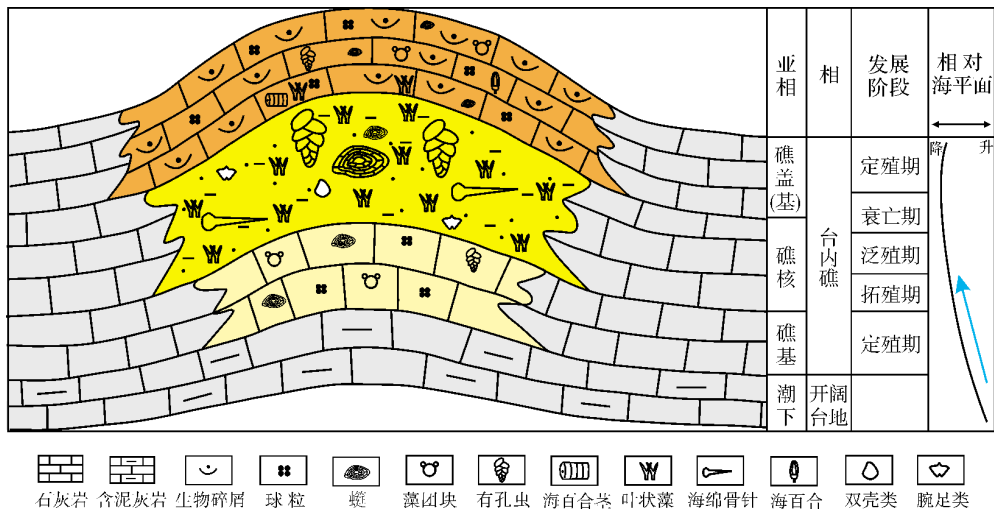


图 6 川东地区中二叠统茅口组三段台内礁沉积模式示意图

## 4 生物礁纵向演化特征

根据前述的颗粒类型、粒度、含量变化及生物组合等岩石结构特点,本生物礁剖面在垂向上可以划分出两个相对较为完整的旋回,每个旋回根据 McIlreath 等人的模式<sup>[9]</sup>将生物礁成礁过程分为四期,即定殖期、拓殖期、泛殖期和统殖期(衰亡期),本段剖面也具有阶段性的发育规律(图4)。

### 4.1 生物礁剖面旋回的识别及划分

通过岩心的详细观察及显微镜下薄片鉴定,本段生物礁剖面在垂向上可识别和细分出两个较为完整的成礁旋回。第一个生物礁生长旋回(2203.97~2202.00m,合

计1.97m),下部以泥晶生物碎屑灰岩、藻黏结灰岩沉积为主,岩性较致密(图2c, 3d),是礁基部分;向上,叶状藻大量发育,且以高渗透性的藻格架礁灰岩沉积为主(图2a, 3a),叶状藻片保存较好、成层分布,镜下观察还可见到蠕类、钙质海绵骨针等附礁生物,这些是礁体主要建造期的生物,它们构成了礁核部分;顶部以亮晶生物碎屑灰岩沉积为主,藻格架灰岩中的叶状藻被打碎破坏,分布杂乱,显微镜下观察可见蠕类、非蠕有孔虫、棘皮类等生物碎屑及藻团块等生物颗粒(图2b, 3c),这是第一个成礁旋回的结束,同时也是第二个成礁旋回的开始,它们构成了第一个旋回的礁盖,又构成了第二个旋回的礁基。第二个生物礁生长旋回(2202.00~2199.65m,合计2.35m),其生

发育过程与第一个成礁旋回在垂向上具有相似的岩性组合特征,这里不再赘述。

## 4.2 生物礁剖面的成礁阶段划分及特征

**定殖期** 定殖期是为生物礁形成打基础的阶段,它对应于礁基亚相。本文报道的藻格架礁的定殖期主要为泥晶生物碎屑灰岩及少量藻黏结灰岩(图2c),显微镜下薄片观察到生物种类较多,主要为蠕类及非蠕有孔虫,也见球粒和似球粒等颗粒(图3d)。推测该阶段发生了相对海平面下降事件,沉积环境发生了改变,能量变高,在正地貌高地沉积了大量代表中等能量强度的泥晶颗粒灰岩。与此同时,各种生物大量繁殖。经过本期的沉积,无论是在水深、水动力方面,还是在地形、地貌方面,都为叶状藻礁的形成创造了条件。

**拓殖期** 经过定殖期以后,地形、地貌、水动力、阳光及营养等各方面都适合了生物生长,由此也进入了生物礁发育的拓展期,各种生物开始大量繁殖,特别是以叶状藻为主体的造礁生物茁壮成长,本期对应于礁核亚相的初期阶段。岩心观察显示,这一阶段的叶状藻片保存较完整,且藻片间的灰泥较少,发育藻格架孔(图5a)。

**泛殖期** 随着拓殖期生物礁体的向上加积,水体能量逐渐增加,在温暖的中等动荡水环境中,藻类、腕足类、双壳类等生物快速生长,它们群居在一起形成骨架。这个阶段是礁体的主要建造时期,即泛殖期,同时也是礁体向上生长最显著的时期<sup>[18]</sup>,构成了礁核亚相的主要部分。对于本次研究的剖面而言,在开阔台地内部,中低能量的潮下浅滩环境适合藻类的生长发育,但由于藻格架礁本身具有强烈的排它性,它的繁盛限制了其他正常海相生物的发育,镜下薄片观察也证明了这一点:在藻格架生长最旺盛的时期,其他生物种类较少,根据已有资料仅识别出了蠕类、非蠕有孔虫、双壳类以及钙质海绵骨针等(图3a, 3b)。而且,从岩心及显微镜下薄片观察均发现在叶状藻片的内部障积了灰泥和细小的生物碎屑,如小的有孔虫、少量的球粒等颗粒,这些特征均表明藻格架礁生长发育环境的水体能量中等。

**统殖期(衰亡期)** 随着相对海平面的继续下降,生物礁发育就进入了统殖期(衰亡期)。处于台地的较浅水环境中,水体能量提高了,此时期生物的种类并没有增多,但叶状藻的含量减少了,球粒、似球粒及藻

团块的颗粒含量增多,也反映了水体能量较动荡(图3f)。本期是礁核亚相和礁盖(基)亚相的过渡期,在此初期,叶状藻还能生长的时期属礁核亚相,之后,随着相对海平面的持续下降,就逐渐形成了以生物碎屑滩沉积为主体的礁盖(基)亚相。当叶状藻礁生长发育至浪基面附近时,由于波浪的影响,完整的叶状藻类难以保存而基本都被打碎。这点从宏观岩心观察很容易发现。在单个旋回的顶部,叶状藻片基本无完整保存,呈现杂乱分布、无定形的特征(图2b)。随着水体动能逐渐升高,叶状藻礁停止生长,形成了以亮晶生物碎屑灰岩沉积为主的生物碎屑滩体,它同时也成为了下一个叶状藻礁发育的良好基底(图4,图5b)。

## 5 讨论

### 5.1 藻礁形成的控制因素

生物礁的形成条件需要温暖清洁的浅水、光照好和波浪作用较强的高能环境,且需要正向地貌作为其生长的底座<sup>[18]</sup>。下二叠统梁山组的陆源碎屑沉积物已将四川盆地石炭纪末的准平原化地貌填平补齐,中二叠世开始,整个扬子大陆进一步遭受海侵,栖霞期—茅口期沉积以后,川东地区及整个扬子台地成为“泛扬子大陆”——为一完整的巨型台地,沉积环境为开阔海台地为主<sup>[20]</sup>。在这样一个广阔的陆表海环境,除台地边缘外,沉积分异不强,地貌高差不大,波浪或海流对沉积界面的作用无大的差异,水体能量一般也达不到生物礁所需的高能条件。至中二叠世晚期,峨眉地裂运动渐趋于强烈,上扬子地区出现较为剧烈的拉张背景,巨大的隆升作用不仅使得地壳抬升造陆,更重要的是地裂运动唤醒了早期的基底断裂,使其处于持续活动状态,四川盆地向隆起和拗陷模式演化<sup>[21]</sup>。研究区的一些北东向的断裂虽然现今多为逆断层,但是它们早期都具有张性正断层的性质<sup>[22-23]</sup>。川东地区受垒—堑型张性块断作用的控制,形成了“台块—台槽”的构造—沉积分异格局。这些隆升的“断块”随着相对海平面的变化就发育成了大量浅水型碳酸盐岩沉积台地,从而有利于生物礁的形成和发展。对于川东地区长兴组台地内生物礁的形成机理,大多认为是受控于基底断裂张性正断活动所产生的“堑—垒”地貌差异<sup>[24-26]</sup>;对于同属上扬子板块内部但却处于东南缘的贵州织



金独店子茅口组生物礁,也被认为是受控于“台块—台槽”分异的格局<sup>[20]</sup>。

借鉴前人已有的认识,结合研究区的区域构造背景和中二叠世茅口组的区域古地理背景,笔者认为本次研究的藻礁发育在受张性块断作用影响而形成的浅水型碳酸盐岩断隆之上,张性正断层形成的“堑—垒”型构造—沉积分异格局是重要的控制因素,而引起持续正断活动的峨眉地裂运动是主导因素。由此,笔者建议寻找川东地区乃至整个四川盆地的中二叠统生物礁及礁型气藏时,应重视受古断裂带活动影响的区域以及伴生次级断裂的周缘,尤其是那些和较深水台槽毗邻的浅水型碳酸盐岩台地。

## 5.2 藻格架礁灰岩的储集意义

据最新的关于川东地区中二叠统茅口组储层的研究成果<sup>①</sup>,区内茅口组主要为一套受岩溶改造作用而成的风化壳岩溶型储层。开阔台地环境中发育的台内浅滩相颗粒灰岩及台内点礁藻格架灰岩为后期岩溶型储层的改造发育提供了优越的物质基础。前文所述的藻格架礁灰岩的宏观、微观岩石学特征及垂向演化组合特征表明,藻格架礁灰岩有利于后期岩溶水的优化改造,可形成优良的储层。根据岩心观察,一方面,藻格架礁灰岩中存在的格架孔在岩溶影响区内可为渗流粉砂充填,这表明岩溶发育时存在着孔洞(图5a),有利于岩溶水的流动改造而形成良好的岩溶孔洞系统,进而成为油气储集空间;另一方面,根据岩心垂向剖面的演化特征,礁基(盖)部分为一套生物碎屑含量较丰富、颗粒较纯、质脆但较为致密的生物碎屑滩沉积,这可能是经历浅埋藏过程而致密化的结果,这类岩性在岩溶改造作用影响下只能形成溶沟而作为隔水层,它们本身的岩溶孔洞并不发育(图2c,图5b),如果没有后期裂缝的沟通,岩溶水将难以流动或穿层,而只能顺着层面流动或流向孔隙性较好的高渗透层,这就使得具有高渗透特性的藻格架礁灰岩得到了更好的岩溶改造。藻礁剖面的这种高渗透层与低渗透层垂向上叠置的特点,更有利于层状岩溶型储层的发育<sup>②</sup>。

## 6 结 论

(1)川东地区中二叠统茅口组藻格架礁属于台

地内部的小型点礁,它发育于茅口组三段,规模不大,主要代表了开阔台地中的一种温暖、浅水、光照较强的沉积环境。

(2)本次研究的礁剖面,岩性主要为藻格架灰岩,主要造礁生物以叶片状藻类为主,含少量苔藓虫及球粒、似球粒等生物颗粒;附礁生物种类有蠕虫、非蠕虫有孔虫、腕足类、双壳类及少量棘皮类。叶片状藻类之间障积大量的灰泥和细小的生物碎屑,包括小的有孔虫、少量的球粒等,这些特征表明叶状藻礁发育于中等能量环境的水体。

(3)本次研究的藻礁剖面可细分出礁基、礁核、礁盖(基)亚相。其中礁基主要由生物粒屑滩组成,岩性为质纯、性脆、致密化的颗粒灰岩;礁核主要由藻格架发育的礁灰岩组成;礁盖(基)同样为含生物碎屑的粒屑滩沉积,先期的生物碎屑滩礁盖部分同时也可以成为下一个礁生长旋回的良好基底,这样礁生长过程在垂向上就呈现出有规律的叠置。同时,生物礁剖面在垂向上可识别出两个较为完整的成礁旋回,具有明显旋回性的特点。每一个成礁旋回可划分出定殖期、拓殖期、泛殖期、统殖期(衰亡期)四个发展演化阶段。

(4)研究区内的生物礁发育是受基底断裂活动形成的“台块—台槽”型的构造—沉积分异格局所控制的,而礁体内较为发育的藻格架孔可能与川东地区的岩溶改造作用关系密切。

### 参 考 文 献

- [1] 范嘉松,吴亚生.川东二叠纪生物礁的再认识[J].石油与天然气地质,2002,23(1):12-18.
- [2] 韦贤,王兴志,张帆.川东北板东地区长兴组生物礁型储层研究[J].石油地质与工程,2007,21(4):16-19.
- [3] 周刚,郑荣才,王炯.川东—渝北地区长兴组礁、滩储层预测[J].岩性油气藏,2009,21(1):15-21.
- [4] 陈季高,赵献文,张荫本.四川盆地上二叠统长兴组生物礁的分布及其与油气的关系[J].天然气工业,1985,5(2):10-18.
- [5] 康保平,黎华继,廖开贵,等.四川盆地东部板东构造长兴组生物礁的研究[J].石油天然气学报,2008,30(5):204-206.
- [6] 刘大成,李书舜.川东鄂西晚二叠世长兴组沉积相与生物礁含油气有利相带特征探讨[J].石油实验地质,1989,11(2):152-159.
- [7] 李登华,唐跃,殷积峰,等.川东黄龙场构造上二叠统长兴组生物礁特征与潜伏礁预测[J].中国地质,2006,33(2):427-

① 谭秀成,陈韵琪,王文飞,等.川东地区二叠系茅口组储层分布与勘探目标优选[R].西南石油大学,2013.

② 谭秀成,山述娇,肖笛,等.四川盆地下二叠统栖霞组、茅口组有利勘探区带及风险勘探目标评选[R].西南石油大学,2011.



- 435.
- [8] 徐志川. 南盘江地区早二叠世茅口期生物礁的含油性[J]. 石油勘探与开发, 1984, (2): 10-16.
- [9] 赵锡奎. 黔中织金独店子茅口组生物礁的发现及其找气意义[J]. 贵州科学, 1991, 9(3): 238-243.
- [10] 李金梅, 巩恩普, 孙宝亮, 等. 贵州紫云晚石炭世叶状藻礁灰岩微相特征与沉积环境的研究[J]. 沉积学报, 2010, 28(1): 26-32.
- [11] Samankassou E, West R R. Construction versus accumulation in phylloid algal mounds: An example of a small constructed mound in the Pennsylvanian of Kansas, USA [J]. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2002, 185 (3/4): 379-389.
- [12] 罗志立. 龙门山造山带的崛起和四川盆地的形成与演化[M]. 成都: 成都科技大学出版社, 1994.
- [13] 童崇光. 四川盆地断褶构造形成机制[J]. 天然气工业, 1992, 12(5): 1-6.
- [14] 四川省地质矿产局. 四川省区域地质志[M]. 北京: 地质出版社, 1991: 186, 198.
- [15] 宋文海. 四川盆地新统沉积相及其含油气条件[J]. 天然气工业, 1981, 1(1): 23-37.
- [16] 黄先平, 杨天泉, 张红梅. 四川盆地地下二叠统沉积相及其勘探潜力区研究[J]. 天然气工业, 2004, 24(1): 10-12.
- [17] 彼得 A. 肖勒, 达娜 S. 厄尔默-肖勒. 碳酸盐岩岩石学——颗粒、结构、孔隙及成岩作用[M]. 姚根顺, 沈安江, 潘文庆, 等, 译. 北京: 石油工业出版社, 2010.
- [18] 朱筱敏. 沉积岩石学[M]. 4版. 北京: 石油工业出版社, 2008.
- [19] McIlreath I A, James N P. Facies models 13. Carbonate slopes [J]. *Geoscience Canada*, 1979, 5(4): 189-199.
- [20] 陈维涛, 周瑶琪, 马永生, 等. 关于龙门山地区东吴运动的存在及其性质的认识[J]. 地质学报, 2007, 81(11): 1518-1525.
- [21] 罗志立. 峨眉地裂运动的厘定及其意义[J]. 四川地质学报, 1989, 9(1): 1-17.
- [22] 张亮鉴. 应用遥感资料对四川盆地基底构造格局与油气分布关系的筛分[J]. 成都地质学院学报, 1985, (2): 73-81.
- [23] 周文, 王允诚, 蒲家奇, 等. 四川盆地大池干井构造带构造形成机理及勘探评价[J]. 四川地质学报, 1994, 14(1): 25-30.
- [24] 李凌. 川东北地区铁山—黄泥堂地区长兴组—飞仙关组礁滩相储层发育演化及分布预测[D]. 成都: 西南石油大学, 2010.
- [25] 李世临, 冯青平, 张文济, 等. 川东地区长兴组台地内生物礁沉积特征研究[J]. 石油地质与工程, 2013, 27(3): 35-39.
- [26] 谭秀成, 罗冰, 江兴福, 等. 四川盆地基底断裂对长兴组生物礁的控制作用研究[J]. 地质论评, 2012, 58(2): 277-284.

编辑: 黄革萍

## Sedimentary Characteristics of Middle Permian Maokou Algal Framework Reef Rock in the East of Sichuan Basin

Luo Bing, Wang Wenfei, Chen Yunqi, Xiao Di, Cheng Yao,  
Li Shuang, Xu Fabo, Tan Xiucheng

**Abstract:** A small scale of intraplatform biological reef rock was discovered in the Middle Permian Maokou Member-3 at Well Yue-005-H1 in the east of Sichuan Basin. Based on observation of drilled cores from this well, it is shown that the reef rock is mainly composed of algal framework reef limestone. Reef-building organisms mostly are phylloid algal and seldom bryozoan with a few epiphyllous organism and a plenty of marl and biotritus are deposited among the algae sheets. Two complete sedimentary cycles, in which any a single cycle is about 1.5m thick, can be recognized in vertical in reef rock and every cycle can include four development phases. Some subfacies, such as reef base, reef core and reef cap(flat) facies, can be classified in reefs. It is inferred that this kind of algal reef limestone that formed on the shallow water carbonate faulted-uplift is likely to be relative with middle Permian Maokou karst weathering-crust reservoirs.

**Key words:** Middle Permian; Maokou Fm.; Reef limestone; Sedimentary characteristics; Sichuan Basin

Luo Bing: DSc., Petroleum Geology Engineer. Add: Exploration and Development Institute of PetroChina Southwest Oilfield Branch Company, Beiduan 12, Tianfu Dadao, Chengdu, Sichuan, 610500, China