

文章编号: 1000-0550(2009) 05-0995-07

# 磨溪气田嘉二段陆表海碳酸盐岩台地内滩体发育规律<sup>①</sup>

谭秀成<sup>1</sup> 刘晓光<sup>1</sup> 陈景山<sup>1</sup> 刘宏<sup>1</sup> 吴小庆<sup>1</sup> 邱文彬<sup>2</sup>

(1 西南石油大学资源与环境学院 成都 610500; 2 西南油气田分公司川中油气矿 四川遂宁 629000)

**摘要** 近年来,四川盆地三叠系台缘鲕滩的油气勘探取得了重大的突破和进展,激发了人们对广阔台地内部滩体的研究兴趣。以四川盆地川中地区磨溪气田嘉二<sup>2</sup>A 层为研究对象,通过对区内钻孔的测、录井及岩心芯资料的分析,总结了陆表海碳酸盐岩台地上台内滩体发育特征:向上变浅序列发育、单滩体厚度一般小于 4 m、累积厚度较小以及横向连续性较差。进一步分析讨论后认为,沉积期古地貌、古水深、海水动荡程度以及古海平面相对升降变化共同控制了台内滩的发育与分布,结果表明陆表海碳酸盐岩台地内继承性古隆起是台内滩体的有利发育区,形成的台内滩体具有一定的厚度规模和较大分布面积,但是台地内部的隆坳地形分异使滩体横向分布变化较大。这些认识可为台内滩储层的下一步勘探提供必要的地质支撑。

**关键词** 分布规律 台内滩 碳酸盐岩台地 古隆起 嘉二段 磨溪气田

**第一作者简介** 谭秀成 男 1970 年出生 博士 副教授 储层沉积学 E-mail tanxiucheng70@163.com

**中图分类号** P588.24<sup>+</sup>.5 **文献标识码** A

四川盆地普光、龙岗、罗家寨、元坝等一系列飞仙关组滩相大气田的发现,展示了碳酸盐岩台地边缘鲕滩储层巨大的勘探潜力,也掀起了人们对鲕滩研究的热潮<sup>[1~7]</sup>。由于台地内部的面积远较台缘区大,因此,台内鲕滩研究对扩大四川盆地鲕滩气藏的勘探领域具有深远的影响。然而,从近年来鲕滩气藏的钻探成果看,台地内部鲕滩的横向变化远大于台地边缘鲕滩。因此,对台内鲕滩的发育、分布规律研究将有助于提高该类气藏的勘探成功率。目前,国内外的有关学者对鲕滩的研究主要侧重在对鲕滩储层控制因素方面的分析<sup>[3,6~9]</sup>。然而,滩体的发育、分布规律却是寻找滩相储层的前提条件。鉴于此,本文以岩心资料极为丰富的川中地区磨溪气田为例,通过野外露头及大量钻孔资料的综合运用,讨论陆表海碳酸盐岩台地内滩体的发育分布规律。研究结果不仅有助于加深对台内鲕滩研究这一重要科学问题的认识,而且对区域油气勘探也将具有重要参考意义。

## 1 地质背景

磨溪气田位于四川盆地川中古隆中斜平缓带的南部(图 1),该地区从震旦系到中三叠统均为海相沉积,并以碳酸盐岩为主。区内下三叠统嘉陵江组二段可划分为三个亚段,其中嘉二<sup>2</sup>亚段又细分为 A、B、C 三个小层<sup>[10,11]</sup>,嘉二<sup>2</sup>亚段 A 层下部为蓝灰色泥岩频

夹薄层砂屑灰岩,中上部为浅灰色鲕粒灰岩夹薄层泥晶灰岩或泥晶云岩,局部井区夹灰黑色块状硬石膏岩,上部为深灰色泥晶灰岩(图 1),储层主要发育于鲕粒灰岩中<sup>[12]</sup>。

据研究,磨溪气田嘉二沉积期的沉积体系为陆表海碳酸盐岩台地,以发育局限—蒸发海台地沉积为特征,其中的嘉二<sup>2</sup>亚段 A 层以发育台内颗粒滩亚相为特征,主要包括滩核及滩核—滩缘微相。滩核微相主要由鲕粒灰岩组成,具有颗粒岩累计厚度和单滩体厚度较大的特点,是本期沉积最有利的储集微相<sup>[12]</sup>。

截至 2005 年底,磨溪构造主体 280 km<sup>2</sup> 内共钻井 41 口,其中嘉二段全取心 16 口,并且在区内分布较均匀,井网合理分布的大量钻孔资料为台内鲕滩的发育分布研究提供了便利条件(图 2)。

## 2 台内滩基本特征

### 2.1 岩性特征

嘉二<sup>2</sup>A 层滩相沉积主要岩性为浅灰—灰色亮晶鲕粒灰岩,鲕粒含量 55%~83%,多为正常鲕,鲕径 0.4~1 mm;鲕粒间一般可见两期方解石胶结物,第一期呈马牙状,围绕颗粒生长,第二期粉晶—细晶粒状方解石,充填残余粒间孔(图 3a),胶结物含量 18%~35%,此外,还有少量的砂屑,一般占 0~10%;鲕粒灰岩由于准同生期大气淡水的选择性溶蚀

①中石油中青年创新基金(编号:06E1018),四川省重点学科建设项目(SED0414)资助。

而形成粒内溶孔、铸模孔等溶蚀孔隙<sup>[13]</sup>,局部层段的鲕粒灰岩保存了较多的残余粒间孔。其次为亮晶生屑灰岩和砂屑灰岩(图 3b),往往发育于鲕滩的下部,表明其形成时对环境能量的要求低于鲕粒灰岩。

### 2 2 纵向序列特征及发育规模

陆表海碳酸盐岩台地只有一个小的潮汐范围,潮流作用只有在开阔海台地上是明显的。在大多数的

时间里,陆表海碳酸盐岩台地是一个仅有波浪和风暴浪作用的相对安静环境。另外,由于浪基面很浅(一般小于 5 m),风暴浪的作用将十分突出。在海平面稳定以及没有沉降或抬升的台地上,通过浅水潮下至较深水的碳酸盐沉积物的垂向加积作用,台地可建设至海平面或海平面之上,形成典型的向上变浅序列。本区嘉二段沉积时也是典型的陆表海碳酸盐岩台地

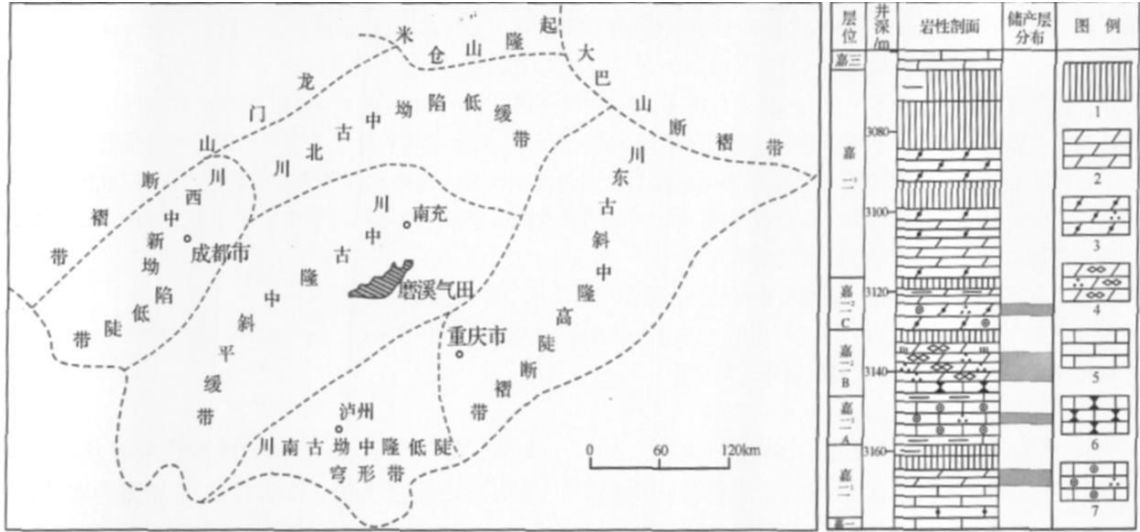


图 1 磨溪气田地理位置和区域构造(左图)以及嘉二段典型沉积序列剖面图(右图)

Fig. 1 Sketch map showing the geographical position and regional structure of Moxi Gas Field (Left); Typical depositional succession in No. 2 Member of Jialingjiang Formation (simply marked as Jia 2) (Right)

1 - 膏岩; 2 - 泥晶云岩; 3 - 针孔砂屑云岩; 5 - 泥晶灰岩; 6 - 瘤状灰岩; 7 - 针孔鲕粒灰岩

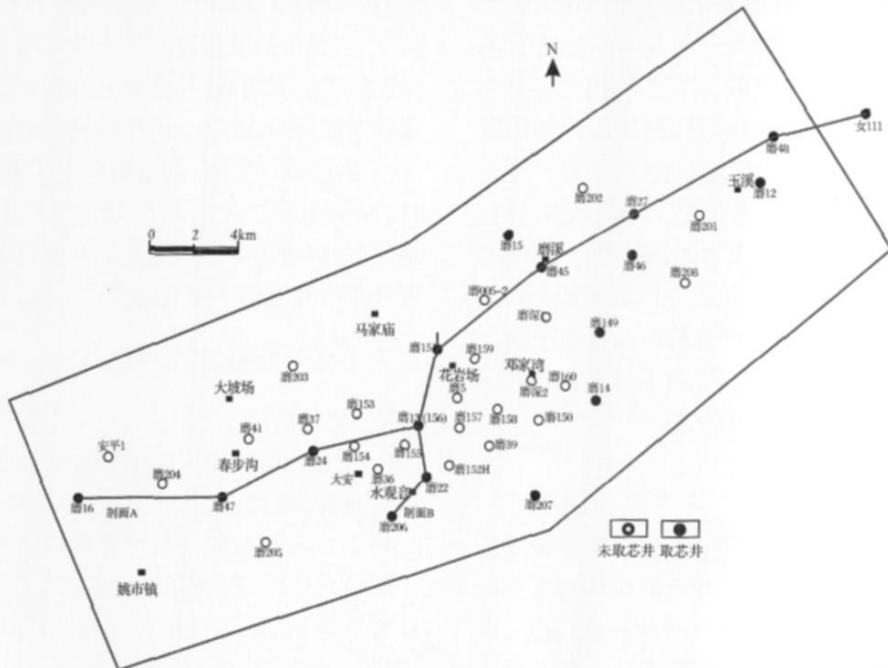


图 2 磨溪气田井位分布及剖面位置图

Fig. 2 Sketch map showing drilling well and cross-section location in Moxi Gas Field



m(图 6), 仅在南东方向的磨 206 井单滩体厚度为 3.63 m。通过颗粒滩的测井相研究<sup>[15]</sup>, 对未取心井颗粒滩进行解释, 据此统计了 41 口井的滩体累积厚度(只统计单滩体厚度大于 0.5 m), 结果表明, 滩体累积厚度在区内的变化范围为 2~5.6 m, 滩体累积厚度大于 4 m 的区域分布于磨 151—磨 13、磨 48、磨 202、磨 208 等四个井区。

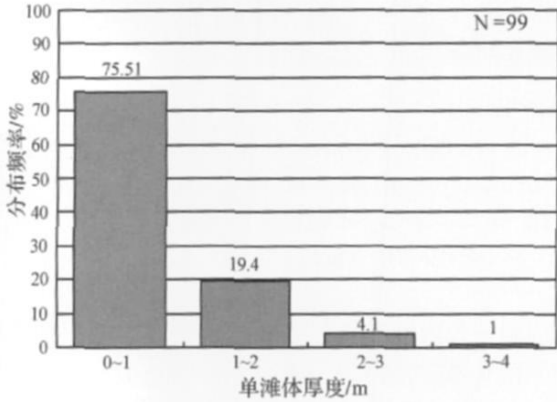


图 6 嘉二<sup>2</sup>A 层单滩体厚度分布频率直方图

Fig 6 Histogram showing the thickness variations of an ooidal shoal in Bed A of Jia 2

### 3 台内滩发育分布与主控因素

#### 3.1 海平面相对升降变化和水动力条件对台内滩的影响

碳酸盐岩沉积响应与海平面升降有着密切的关系, 海平面升降变化引起的海水深度和动荡程度的变化, 控制了滩体的发育特征与叠置样式<sup>[16]</sup>。

滩体发育要求沉积环境能量较高, 而盆地内沉积界面是否处于高能界面, 又受控于海域的总体能量、障壁的存在和古水深。嘉二沉积期, 由于四川盆地周缘水下高地的阻隔<sup>①</sup>, 海水总体能量较低, 波浪作用较弱, 波浪能够影响到的深度也相应较小, 在构造活动和海平面相对稳定时期, 浪基面之上的可容空间小, 因此, 形成的单滩体厚度规模较小。

本区嘉二<sup>2</sup>A 期海平面变化由早期海侵旋回和晚期海退旋回构成, 并且存在次一级的海平面震荡性升降变化。嘉二<sup>2</sup>A 早期“蓝灰色泥岩”沉积时反映的最大海侵, 使沉积界面处于浪基面之下, 以堆积低能细粒沉积物为主, 颗粒滩不发育。随着沉积物的垂向加积, 区内局部海底高地最先处于浪基面之上, 开始发育台内颗粒滩, 此时, 沉积速率较快, 但因次一级海平面震荡性上升的影响, 沉积界面间歇性处于浪基面之

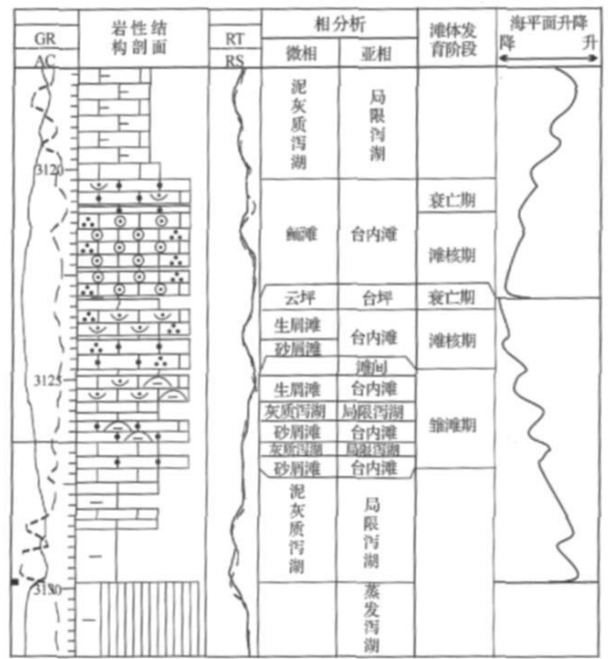


图 7 磨 13 井嘉二<sup>2</sup>A 期海平面升降与台内滩发育

Fig 7 Relationship between intraplatform shoal development and sea level changes during stage A of Jia 2 in Well M o 13

下, 导致滩体中止发育。因此, 初期形成的台内滩多呈颗粒灰岩与泥晶灰岩薄互层(图 7)。当海平面相对稳定时, 发育于海底高地上的颗粒滩沉积速率增加, 并且快于震荡性海平面上升速率, 滩体快速生长, 造成等效持续海退<sup>[17]</sup>, 滩体发育范围向海底高地周缘扩展。由于滩体的垂向加积或者等效持续海退, 导致滩体发育处海水变浅, 能量逐渐增强, 因此, 这一时间段内的滩相沉积物在垂向上以发育逆粒序为特征(图 4b)。在海底相对低洼处, 仅在海退晚期才处于浪基面之上, 形成颗粒滩沉积。随后, 可以由于次一级海平面相对上升导致滩体生长旋回终止; 或者随着滩体的进一步生长, 逐渐显露于海面之上, 因逐渐暴露而终止发育, 演变为潮上低能环境, 滩体也因此向台坪边缘迁移(图 5), 具有这种演化特征的单个滩体沉积序列的厚度往往能够近似地指示滩体发育处的古水深。

在嘉二<sup>2</sup>A 的海侵旋回早期, 在海底地貌高地, 碳酸盐沉积速率等于或稍高于海平面上升速率, 滩体的生长速率很快, 逐渐处于海平面附近, 形成较厚的暴露型浅滩。在海侵旋回晚期, 海平面上升速率基本上都快于滩体建造速率, 最终导致台内滩停止发育。根

① 同上页

据 16 口取心井的详细观察,结合海平面变化对滩体发育的控制分析,可以将陆表海碳酸盐岩台地内滩体的发育演化划分为以下三个阶段:

**雏滩期或低建造期:**随沉积物垂向加积,沉积界面逐渐处于浪基面附近,台内滩开始发育,沉积速率较高,但由于海平面的震荡性上升,沉积界面周期性处于浪基面之下而导致台内滩停止发育,形成薄层状的亮晶砂屑或生屑灰岩与泥晶灰岩互层(图 7),并且滩体很少出露海面,也称非暴露型浅滩。

**滩核期或高建造期:**当沉积物垂向加积使沉积界面处于平均低潮面附近时,颗粒滩的沉积速率最高,此时,海平面震荡上升速率小于或等于滩体建造速率,形成厚层的亮晶鲕粒灰岩或砂屑生屑灰岩。由于建造速率快,台内滩往往发生同生期暴露,受到大气淡水的淋溶改造,形成溶孔层,也可视为暴露型浅滩(图 7)。

**衰亡期:**有两种情况可以导致台内颗粒滩发育终止。(1)在台内颗粒滩的沉积速率低于海平面震荡性上升速率的情况下,导致台内滩的沉积界面重新处于浪基面之下而停止发育,岩性往往为较高能的生屑砂屑灰岩,层厚变薄,少见同生期暴露淋溶,也属于非暴露型浅滩类型;(2)在台内颗粒滩的沉积速率高于海平面震荡性上升速率或者发生等效持续海退的情况下,滩体可以建造到海平面附近甚至出露海面,台内滩演变为低能台坪亚相而终止发育(图 7)。

本区嘉二<sup>2</sup>A 沉积期海平面变化特点总体上表现为快速海侵—缓慢等效海退,结合上述海平面变化对滩体发育的影响分析,可以认为滩体发育层位较高的井区,其古地貌较低。由于存在次一级的海平面相对升降变化,当单个滩体生长因向上变浅而终止后,因次一级海平面相对上升的影响,沉积界面可重新处于高能带,形成下一旋回的单滩体沉积;或者因海平面上升而终止发育的台内滩,由于沉积物的垂向加积重新处于高能带而开始下一旋回的滩体生长。多旋回的次一级海平面相对升降变化,可以使多个滩体叠置形成累积厚度较大的台内滩沉积(图 7)。

### 3.2 海底古地貌决定台内滩的分布

虽然一般认为碳酸盐岩台地可以忽略地貌的变化,但台地内部实际上也存在次一级的隆坳起伏变化。如前所述,高能的水下高地环境有利于台内颗粒滩的生长,因此台地内次一级的隆坳地貌分异导致了初期台内颗粒滩发育的分异,而滩体的高建造性又可强化这种地貌差异。导致台地内地貌高地形成的原

因可以是同沉积期构造活动形成的古隆起,也可以是继承性的古隆起。由古隆起控制的地貌高地具有规模大的特点,因此,在台地内部古隆起上形成的滩体具有较大的规模和较好的横向连续性,据此可以通过在陆表海台地内寻找古隆起来预测滩相碳酸盐岩储层的分布。根据前述分析,滩体形成严格受高能环境控制,而碳酸盐岩台地海水能量总体较为稳定,在海水能量一定的情况下,动荡海水的影响深度基本稳定,那么,高能的颗粒滩只可能发育于沉积期水下微地貌较高的地方,而台地内部滩体的沉积速率高于其它环境,因此更加强了这种古地貌差异。

滩体的横向分布与纵向迁移规律也可以印证颗粒滩的发育与沉积期微地貌相关,磨 151—磨 48 井区滩体发育层位最低、持续时间最长、累积厚度最大,表明这些地区为沉积期水下高地;而在东南部的磨 206—磨 207、西南部的磨 16—磨 47 井区及东北部的女 111 井区,台内滩发育层位较高、持续时间短、累积厚度小,台内滩在海退中晚期才开始发育,并且由于后期的海侵使沉积界面处于浪基面之下,台内滩发育较晚而终止较早(图 8)。这些特征表明可以利用滩相颗粒岩的累积厚度变化近似地恢复沉积期的微地貌高低。

通过 41 口井统计作出的滩相颗粒岩累积厚度分布(图 9)来看,颗粒岩在本区大面积分布,但厚度变化较大。颗粒岩累积厚度大于 4 m 的区域集中分布在磨 36—磨 157—磨 151、磨 202 及磨 48 三个井区;在磨溪构造主体部位,颗粒岩累积厚度小于 3 m 的区域为磨 005-2—磨 150 及磨 12—磨 201 井区,且具有单滩体厚度小的特点。按照前述分析,磨溪地区在嘉二期应该是一个水下高地,而且滩相颗粒岩的厚度变化指示了这个水下高地内存在次一级的凹凸古地形分异。在这个水下高地内,由于周围滩体的遮挡,在中部的磨 159 井—磨 158 井—磨 150 井一带的局部洼地形成了蒸发滩间海沉积,以发育灰黑色块状膏岩为特征,颗粒岩厚度很薄(图 9)。这种沉积期隆坳相间的古地貌特征,是控制滩体发育与分布的关键。

从区域构造背景看,磨溪构造属于乐山—龙女寺古隆起上的一个次级隆起,其形成受乐山—龙女寺古隆起形成演化的控制。寒武纪期间乐山—龙女寺古隆起主隆起带形成时磨溪构造尚未形成;志留纪末加里东运动,四川盆地总体抬升,遭受剥蚀,古隆起轴部最为强烈,乐山—龙女寺古隆起基本定型,本区此时也有局部圈闭形成;二叠纪—早三叠世,乐山—龙女



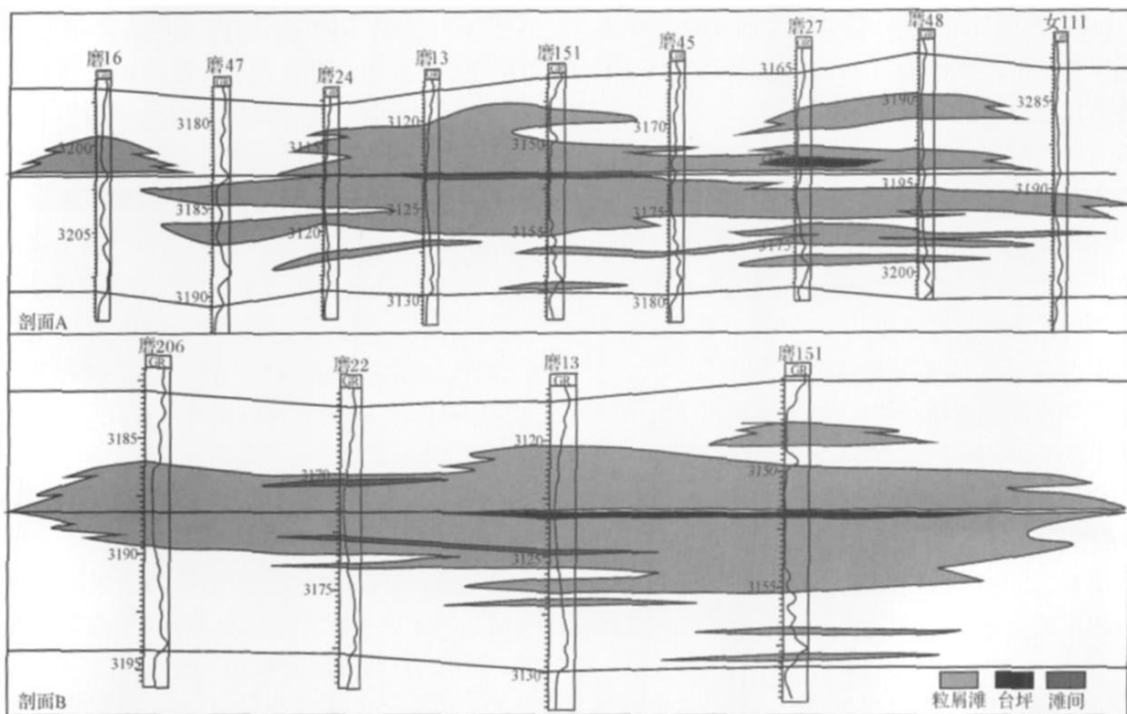


图 8 磨溪气田嘉二<sup>2</sup>A 层台内滩叠置迁移示意图

Fig. 8 Cross-sections showing superposition and lateral variations of intraplatform shoals in Jia 2 Member in Moxi GasField (see Fig. 2 for the locations)

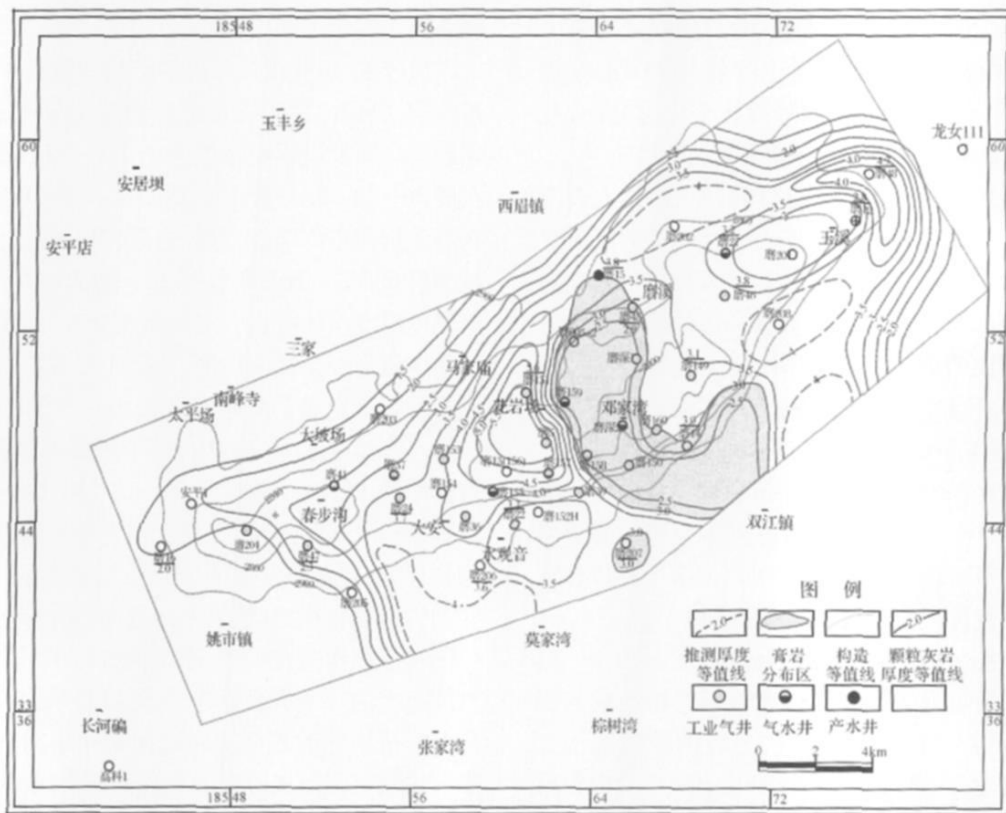


图 9 磨溪气田嘉二<sup>2</sup>A 层颗粒岩厚度分布图

寺古隆起仍表现为不同程度的继承性隆起<sup>[18-19]</sup>。这表明乐山—龙女寺继承性古隆起是嘉二期磨溪水下高地形成的根本原因。

## 4 结论

(1) 磨溪气田嘉二<sup>2</sup>A 层陆表海碳酸盐岩台地上的台内滩主要由亮晶鲕粒灰岩以及生屑灰岩和砂屑灰岩组成,以发育向上变浅序列为特征,单滩体厚度一般小于 4 m,累积厚度小于 6 m,横向连续性较差。

(2) 沉积期古地貌、古水深、海水动荡程度以及古海平面相对升降变化共同控制了台内颗粒滩的发育与分布,其演化阶段可分为雏滩期(低建造期)、滩核期(高建造期)及衰亡期。

(3) 碳酸盐岩台地内部水下古隆起有利于台内颗粒滩的生长,形成的滩体具有较大的规模和较好的横向连续性,据此可以通过在陆表海台地内寻找古隆起来预测滩相碳酸盐岩储层的分布。而水下古隆起内的次一级凹凸地貌分异可以使滩体横向连续性变差。

### 参考文献 (References)

- 1 Stacy Lynn Reeder, Eugene C. Rankey, *et al.* Interactions between tidal flows and oolitic shoals Northern Bahamas[J]. *Journal of Sedimentary Research*, 2008, 78: 175-186
- 2 蒋志斌,王兴志,张帆,等.四川盆地北部长兴组—飞仙关组礁、滩分布及其控制因素[J].*中国地质*, 2008, 35(5): 940-950
- 3 马永生,牟传龙,谭钦银,等.达县—宣汉地区长兴组—飞仙关组礁滩相特征及其对储层的制约[J].*地学前缘*, 2007, 14(1): 182-191
- 4 杨晓萍,赵文智,曹宏,等.川东北三叠系飞仙关组鲕滩气藏有利储集层的形成与分布[J].*石油勘探与开发*, 2006, 33(1): 17-21

- 5 王启颖,李才良,王达俊,等.川东飞仙关组鲕滩气藏控制因素及其储集条件研究[J].*海洋石油*, 2007, 27(3): 64-69
- 6 Ezzat H. Eydari. Porosity loss, fluid flow, and mass transfer in limestone reservoirs: application to the Upper Jurassic Snackover Formation, Mississippi[J]. *AAPG Bulletin*, 2000, 84(1): 100-118
- 7 邓小江,梁波,莫耀汉,等.塔河油田奥陶系一间房组礁滩相储层特征及成因机制新认识[J].*地质科技情报*, 2007, 26(4): 63-69
- 8 杨威,魏国齐,金惠,等.川东北飞仙关组鲕滩储层成岩作用和孔隙演化[J].*中国地质*, 2007, 34(5): 822-828
- 9 王招明,赵宽志,邬光辉,等.塔中 I 号坡折带上奥陶统礁滩型储层发育特征及其主控因素[J].*石油与天然气地质*, 2007, 28(6): 797-801
- 10 王维斌,苟宏才,邱彬,等.四川盆地东部下三叠统嘉陵江组储层特征[J].*天然气工业*, 2005, 25(10): 30
- 11 邓刚,谭秀成,李凌,等.蜀南地区西南部嘉陵江组储层特征研究[J].*天然气工业*, 2006, 26(增刊 A): 45
- 12 周彦,谭秀成,刘宏,等.磨溪气田嘉二段鲕粒灰岩储层特征及成因机制[J].*西南石油大学学报*, 2007, 29(4): 30-33
- 13 雷卞军,周跃宗,杨金利,等.川中—川南过渡带嘉陵江组二段沉积相及其展布特征[J].*中国地质*, 2006, 33(5): 1149-1158
- 14 Wilson J.L. *Carbonate Facies in Geologic History*[M]. Springer-Verlag/New York, 471
- 15 刘宏,谭秀成,周彦,等.颗粒碳酸盐岩测井相及其对滩相储层的指示意义[J].*天然气地球科学*, 2007, 18(04): 527-530
- 16 李凌,谭秀成,夏吉文,等.海平面升降对威远寒武系滩相储层的影响[J].*天然气工业*, 2008, 28(4): 19-22
- 17 徐桂荣.海平面变化与水深变化和沉积速率的关系[J].*地质科技情报*, 1992, 11(3): 31-34
- 18 汪泽成,赵文智,等.四川盆地构造层序与天然气勘探[M].北京:地质出版社, 2002
- 19 宋文海,罗启厚,余光明.论乐山—龙女寺古隆起的形成演化及其找气方向[C].遂宁“四新”会议论文集, 1991

## Shoal Development within the Epicontinental Carbonate Platform, Jia 2 Member, Lower Triassic, Moxi Gas Field, Central Sichuan Basin

TAN Xiu-cheng<sup>1</sup>, LIU Xiaoguang<sup>1</sup>, CHEN Jing-shan<sup>1</sup>, LIU Hong<sup>1</sup>, WU Xiao-qing<sup>2</sup>, QIU Wen-bin<sup>2</sup>  
(<sup>1</sup> School of Resource and Environment, Southwest Petroleum University, Chengdu 610500)

(<sup>2</sup> Central Sichuan Mining District, PetroChina Southwest Oil and Gas Field Company, Suining, Sichuan 629000)

**Abstract** The oil and gas exploration for oolitic shoals in the Triassic platform margin in Sichuan Basin makes important breakthrough and headway. This has aroused the research interest for shoal body within wide carbonate platform. Taking the Bed A of the Jia2 Member in the Moxi Gas Field in central Sichuan Basin for an object of study, this article summarizes the development characteristics of the intraplatform shoal in the epicontinental carbonate platform, based on the analysis of the data of logging and coring in the region of interest. The intraplatform shoal is characterized by the shallow-upward sequence. A single shoal body is less than 4 meters in the thickness. Besides, the cumulative thickness and horizontal succession are both relatively inferior. The further research proves that the development and distribution of the oolitic shoals within the platform are controlled by the depositional paleogeomorphology, water depth, turbulent of sea water and fluctuation of sea level. Meanwhile the research also indicates that the inherited paleo-high within the epicontinental carbonate platform is benefit to develop the shoal vertically and horizontally. However, the paleogeomorphologic differentiation causes horizontally great variation of intraplatform shoal. All of the investigation has laid a solid geologic foundation for the further exploration.

**Key words** distribution, intraplatform shoal, carbonate platform, paleo-high, Jia 2 Member, Moxi Gas Field