

## 四川盆地寒武统龙王庙组 颗粒滩特征及分布规律

姚根顺<sup>1,2</sup>,周进高<sup>1,2</sup>,邹伟宏<sup>1,2</sup>,张建勇<sup>1,2</sup>,潘立银<sup>1,2</sup>,郝毅<sup>1,2</sup>,  
王芳<sup>1</sup>,谷明峰<sup>1</sup>,董庸<sup>1</sup>,郑剑锋<sup>1</sup>,倪超<sup>1</sup>,辛勇光<sup>1</sup>

(1 中国石油杭州地质研究院; 2 中国石油天然气集团公司碳酸盐岩储层重点实验室)

**摘要** 四川盆地龙王庙组颗粒滩相沉积具有良好的天然气勘探潜力。利用盆地露头、岩心和薄片资料,结合地震解释,明确了颗粒滩相由砂屑白云岩、鲕粒白云岩、晶粒白云岩和斑状白云岩组成。颗粒滩相发育滩主体、滩翼和滩坪等微相,储层主要分布于滩主体微相。颗粒滩包含多期向上变浅的高频旋回,每期滩体厚度达2~20m,宽0.9~1.5km,多期滩体的叠置可形成累厚18~55m、宽7~8km、延伸长达百余千米的滩带;滩带主要发育在台隆区相对高部位,总体上环绕潟湖展布,受古构造和海平面变化的双重控制。这一认识有利于盆地龙王庙组滩体的预测,并有助于提高勘探成功率。

**关键词** 四川盆地; 下寒武统; 龙王庙组; 白云岩; 沉积相特征; 分布规律

**中图分类号**: TE112.23

**文献标识码**: A

四川盆地寒武统龙王庙组天然气勘探近期取得重大发现,揭示了龙王庙组储层与颗粒滩相密切相关。然而,迄今为止对颗粒滩的规模和分布规律尚不清楚,这严重制约了勘探进展。近年来,笔者通过典型野外露头 and 钻井岩心观察,特别是大量二维和三维地震资料的精细解释,明确了龙王庙组颗粒滩的发育受海平面变化和古构造的控制,并围绕膏盐湖周缘大面积分布,这在一定意义上为龙王庙组的天然气勘探指明了方向。

### 1 地质背景

前人的研究认为,经下寒武统筇竹寺组( $C_4q$ ) (包括麦地坪组, $C_4m$ )和苍浪铺组( $C_4c$ )陆棚碎屑岩填平补齐后,四川盆地古地貌趋于平缓,地势呈现出西高东低的特点;受早寒武世区域拉张构造环境的影响,基底断裂的复活使断裂下降盘演化成台内凹陷而上升盘成为台隆区。因此,到龙王庙组沉积时,四川盆地总体呈现为向东倾斜的凹隆相间的古地

理背景<sup>[1-9]</sup>,这种古地理背景对龙王庙组滩体的发育和展布具有重要控制作用。

龙王庙组主要为一套台地相碳酸盐岩和蒸发岩,仅靠近西部古陆地区出现碎屑岩,一般厚60~120m,总体构成一个三级层序(图1)。海侵期由含生物扰动或潜穴的纹层状泥质泥晶白云岩组成;海退期由颗粒白云岩、晶粒白云岩和泥晶白云岩组成,海退期可再细分出2~4个次一级的向上变浅的高频旋回,颗粒滩一般分布在高频旋回的上部。

### 2 颗粒滩的主要特征

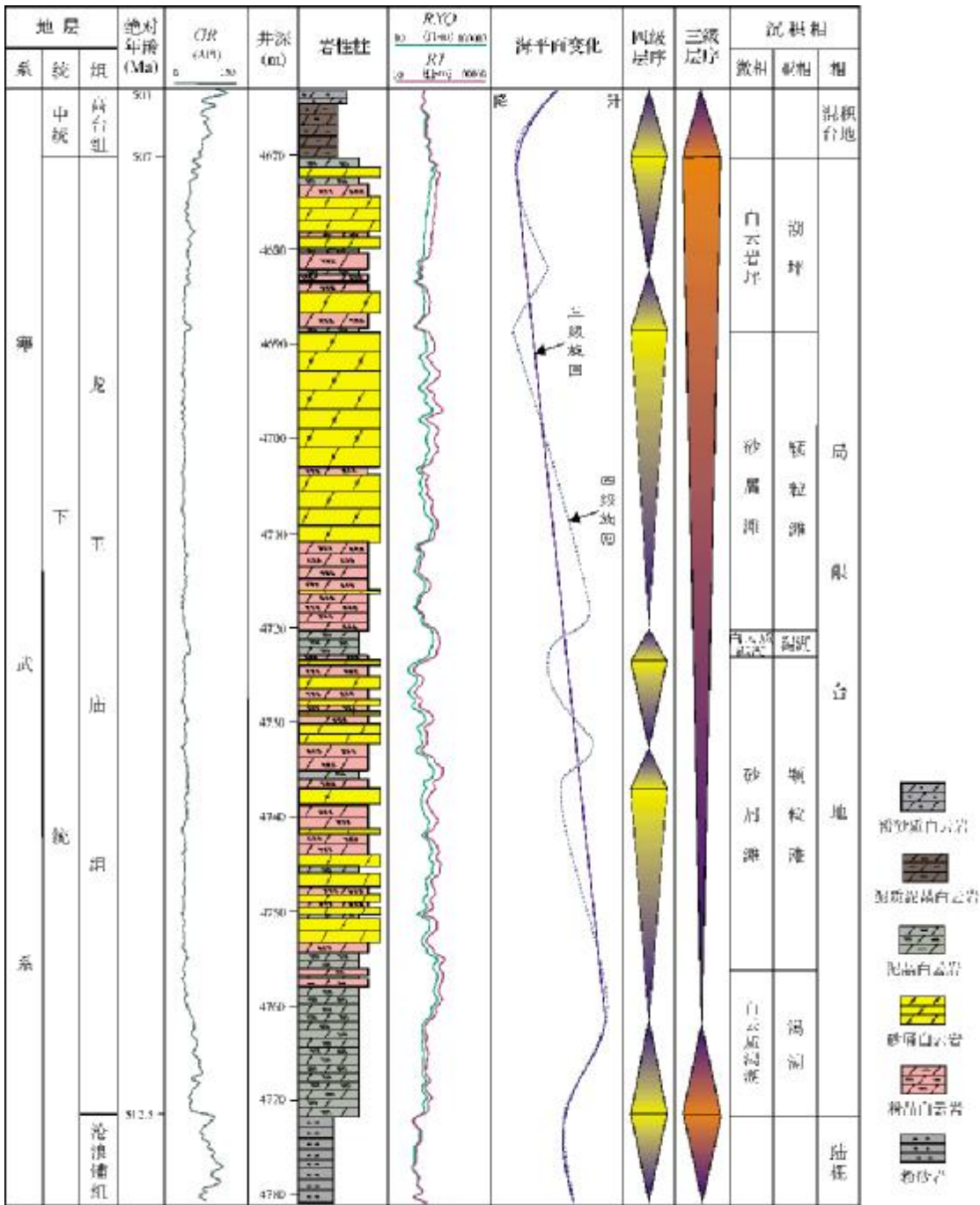
以往涉及颗粒滩的文献虽已见不少<sup>[10-18]</sup>,但对颗粒滩的专门讨论尚鲜有报道<sup>[19]</sup>,对四川盆地龙王庙组颗粒滩的研究文献则更少。下面主要从岩石学和微相两方面来讨论龙王庙组颗粒滩的特征。

#### 2.1 岩石学特征

四川盆地龙王庙组颗粒滩的主要岩性包括颗粒

收稿日期:2013-05-16; 改回日期:2013-08-13

基金项目: 本文受中国石油勘探与生产分公司勘探前期研究项目《四川盆地乐山—龙女寺古隆起震旦系沉积相及储层分布规律研究》(编号:2012ZD01-02-03)和国家科技重大专项《海相碳酸盐岩沉积与有效储层大型化发育机理与分布研究》(编号:2011ZX05004-002)资助  
姚根顺: 1962年生,博士,教授级高级工程师。1983年华东石油学院勘探系毕业;2009年获中国科学院海洋地质学博士学位。长期从事石油地质研究工作。通讯地址:310023 浙江省杭州市西溪路920号;电话:(0571)85224906



白云岩、晶粒白云岩和斑状白云岩(图 2)。此外,还有泥晶白云岩、含泥质条带状白云岩、纹层状泥晶白云岩及白云质泥岩。颗粒白云岩主要是砂屑白云岩(图 2a)和鲕粒白云岩(图 2b),常见交错层理;晶粒

白云岩主要是细晶白云岩(图 2c),偶见颗粒残余,暗示其原岩可能是颗粒白云岩;斑状白云岩由不规则的灰色和暗色粉晶白云岩斑组成(图 2e、2f)。这些岩石因孔隙发育而构成重要的储集岩。

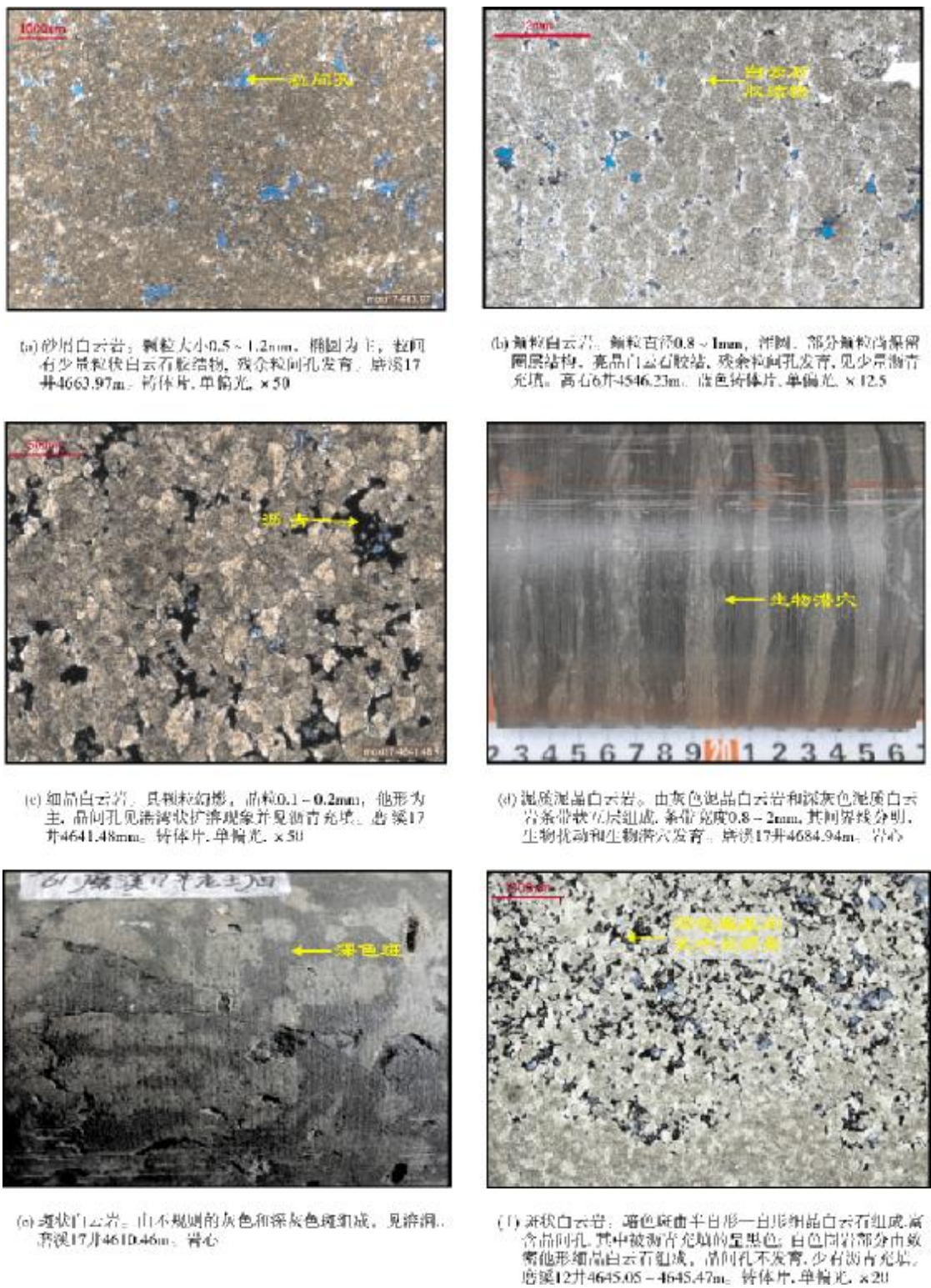


图2 四川盆地寒武统龙王庙组颗粒滩主要岩性特征

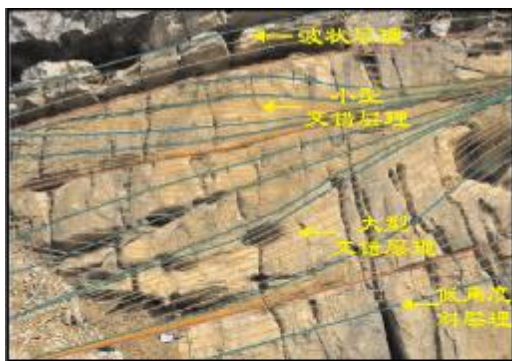


## 2.2 微相特征

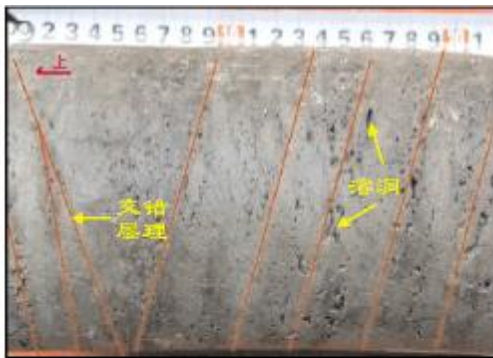
龙王庙组颗粒滩按岩性、沉积结构与构造可划分为三个微相,即滩主体、滩翼和滩坪,其沉积构造特征参见图 3。

### 2.2.1 滩主体

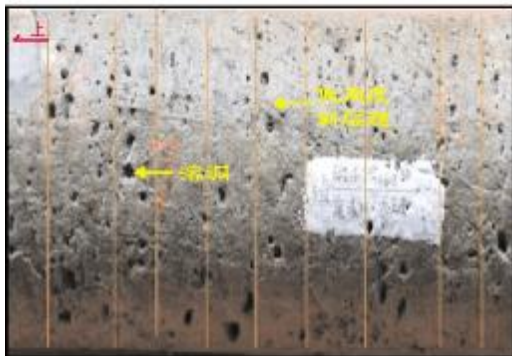
滩主体指的是颗粒滩的主体部分,由浅灰色的砂屑白云岩、砾屑白云岩、鲕粒白云岩以及生物碎屑白云岩等颗粒岩组成,形成于水动力较强的古地貌



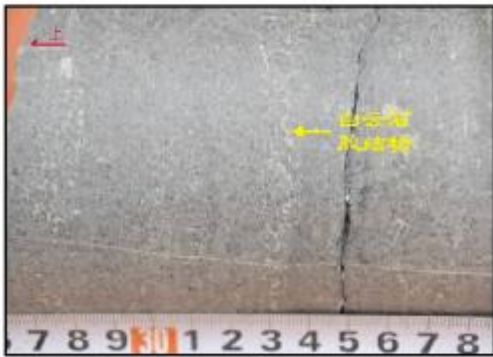
(a) 灰色颗粒白云岩, 颗粒滩主体微相。自下而上发育低角度斜层理、交错层理和波状层理。江油鱼洞梁飞仙关组剖面



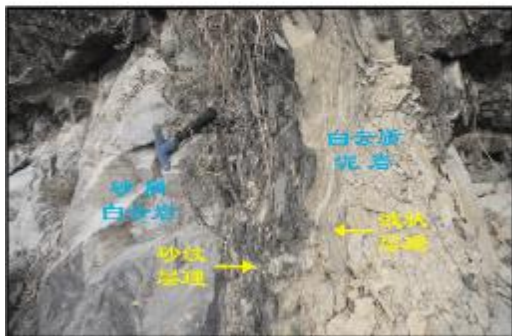
(b) 褐灰色颗粒白云岩, 颗粒滩主体微相。发育交错层理, 溶洞顺层理发育。磨溪 13 井 4615.67m, 岩心



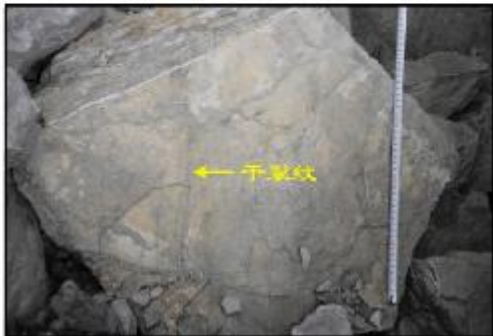
(c) 褐灰色颗粒白云岩, 滩主体微相。发育低角度斜层理, 溶洞顺层理发育。磨溪 13 井 4607.54m, 岩心



(d) 灰色砂砾屑白云岩, 滩翼微相。具递变层理和冲刷面, 较间亮晶白云石胶结。磨溪 17 井 4672.23m, 岩心



(e) 砂屑白云岩和白云质泥岩组成向上变浅序列, 滩主体和滩坪微相。白云质泥岩中发育波痕、砂纹层理和波状层理。南江杨坝剖面



(f) 灰色白云质泥岩, 滩坪微相。发育干裂纹, 裂纹宽 0.5 ~ 1mm, 深 1 ~ 2.5mm, 其中为泥质充填。南江杨坝剖面

图 3 四川盆地寒武统龙王庙组颗粒滩三种微相沉积构造特征

高部位。滩主体往往由多层颗粒岩叠合而成,呈厚层状—块状结构,单层颗粒岩厚度一般 0.5~2 m 不等,层间以冲刷面接触。滩主体常发育交错层理、低角度斜层理以及粒序层理等层理构造。

从野外剖面宏观特征看,完整的滩主体微相由三部分组成(如图 3a),下部为厚层状—块状的低角度斜层理段,中部是中—厚层状大型交错层理段,上部是中层状和波状层理段,粒度总的表现为向上变细的特点。在岩心上,因为尺度所限及钻井位置所限,一般难以完整地观察到滩主体的上述三部分,但交错层理(图 3b)和低角度斜层理(图 3c)常见。

### 2.2.2 滩翼

滩翼微相分布在滩主体的四周,位于迎风面一侧为前翼,背风面一侧为后翼,而把另两侧称为侧翼。不同部位的滩翼,岩性有所不同,但总体上是由薄层颗粒白云岩与泥晶白云岩互层组成。

滩翼微相中,单层颗粒岩的厚度一般在几至十几厘米,厚者可达 30 cm,可见递变层理(图 3d)和交错层理,多以冲刷面与泥晶白云岩接触。滩翼微相颗粒岩往往含有较多的亮晶胶结物,致使岩石较为致密。

### 2.2.3 滩坪

滩坪微相分布在滩体的顶部,由薄层泥晶白云岩、泥质白云岩或白云质泥岩组成,可见砂纹层理和波状层理(图 3e),波痕、干裂纹(图 3f)也常见。

滩坪是向上变浅滩体的最后发育序列,代表了滩体的暴露消亡。

## 3 颗粒滩形成的主控因素

### 3.1 古构造控制滩体分布

古构造是控制滩体发育的重要因素,它通过古地理背景和断裂作用共同控制滩体的分布。关于古地理背景,前已述及,经历了筇竹寺组及沧浪铺组填平补齐式的沉积充填后,四川盆地总的表现为向东倾斜的凹陷相间的面貌,而凹陷相间的格局与基底断裂的活动密切相关,尤其与北东向和北西向断裂关系密切,其中大庸断裂控制了台地和斜坡—盆地的分界(图 4a);而在台地内部,在北东向的华蓥山断裂、齐岳山断裂以及北西向的乐山—长宁断裂、平昌—开县断裂拉张作用下形成一个“反 C”形的台内

凹陷,凹陷的东西两侧分别为相对隆起的川中台隆区和川东台隆区(图 4),在局限的浅水环境下,台隆区水动力较强,有利于颗粒滩发育,而凹陷区由于卤水的回流和蒸发浓缩作用而演化成膏盐潟湖。受膏盐湖的影响,颗粒滩主要在台隆区环绕膏盐湖(反 C 形台内凹陷)周缘发育。

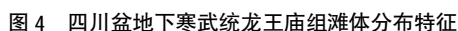
对华蓥山断裂西侧川中台隆区的进一步研究显示,颗粒滩的发育还与次一级古地貌高密切相关。地震资料解释表明,川中地区除了华蓥山断裂外,在四川遂宁磨溪与安岳高石梯之间发育有安平店断裂,安岳高石梯与重庆潼南荷包场之间发育了高石梯断裂(图 4b),这三条近北东向断裂将川中台隆区分割成三个向东倾斜的台阶,最西边的磨溪—女基井一带地貌最高,中间的高石梯—广安一带次之,东边的潼南荷包场—盘龙场一带地貌最低。在整体为浅水的局限台地背景下,每个台阶的转折端都构成波浪作用的活跃地带,从而有利于颗粒滩的发育,实际钻探结果也与此相符,这揭示了古地貌和古断裂对滩体区域展布起着重要的控制作用。

### 3.2 海平面变化控制滩体发育期次

前已提及,四川盆地龙王庙组总体属于一个三级层序,包括海侵至海退的完整旋回。从已有资料看,海侵期水体较深,以细粒沉积为主;海退期水体变浅,滩体发育鼎盛。以重庆石柱双流坝龙王庙组剖面为例,川东台隆区(齐岳山断裂与大庸断裂之间)海侵体系域主要由含泥质石灰岩组成,见少量颗粒岩;代表最大海泛面的凝缩段由瘤状灰岩组成;高水位域由三至四个颗粒白云岩旋回组成(图 1)。而川中台隆区,南江剖面代表近古陆环境,其海侵体系域不发育,主要发育高水位域,并由三至四个颗粒白云岩—泥质白云岩或泥岩的向上变浅高频旋回组成。川中磨溪—高石梯地区的钻探反映了远离古陆的沉积环境,龙王庙组海侵体系域由含泥质纹层的泥晶白云岩和含生物扰动和潜穴的泥晶白云岩组成,高水位域由三至四个泥晶白云岩—颗粒岩的向上变浅旋回组成。总的来看,颗粒滩主要发育在高水位域,受四级海平面变化控制。

对露头剖面和钻井岩心的详细研究表明,龙王庙组高水位域大致经历了四期的次一级海平面变化,每一期相当于一个四级旋回,而颗粒滩则发育在四级旋回的海退阶段(图 1)。颗粒滩的厚薄取决于





可容空间的大小,位于古隆起边缘的地区如南江,可容空间小,单个旋回滩体一般只有 0.5~3 m,顶部发育具干裂纹的滩坪微相。在远离古陆的川中地区可容空间较大,位于古地貌相对高的地区如遂宁磨溪,单旋回滩体厚度可达 20 m,而位于古地貌相对低一点的安岳高石梯地区,滩体厚度变薄,显示出古地貌和海平面变化共同控制滩体发育的特点。

4 颗粒滩规模及区域分布规律

4.1 颗粒滩规模

野外观察、岩心观察以及测井解释结果显示,受次级海平面变化影响,龙王庙组纵向上发育了多期滩体,每期又包含 2~3 个向上变浅旋回,单个旋回厚度 0.5~8m 不等,而每期滩体厚度达 2~20m,地震解释滩体宽0.9~1.5km(图 5)。多期滩体的叠置使颗粒滩累计厚度达 18~55m,宽达 7~8km,有的甚至宽达 25km,总体呈 NE—SW 方向展布,延伸可达百余千米。颗粒滩的广泛分布为大规模储层的发育奠定了基础。

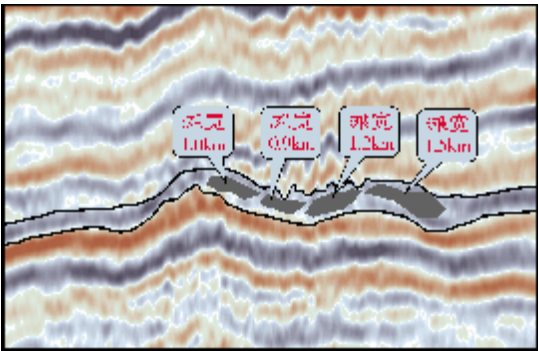


图 5 四川盆地遂宁磨溪 9 井区滩体规模地震预测图

4.2 滩体分布规律

从四川盆地龙王庙期岩相古地理图 (图 4a)可以看出,颗粒滩微相(图中的黄色斑块)主要分布在白云岩坪相带且具有总体环绕膏质潟湖展布的特点。首先,在威远、遂宁(磨溪)和广安地区的钻井显示,这些地区各井都存在颗粒滩,厚度 20~60m 不等;其次,在川东地区的重庆石柱、彭水、南川(三汇)和贵州习水一线,露头剖面也证实龙王庙组颗粒滩

的确普遍存在,这充分显示了颗粒滩主要发育在台隆背景上演化而成的白云岩坪相带。

以华蓥山断裂西侧白云岩坪为例,滩体分布还有以下规律:即滩体主要分布在白云岩坪中心部位(威远—安岳—南充一带),向两侧滩体规模变小,向西滩体规模的变小可能与陆源物质加入有关,往东则可能受膏盐湖的影响。对威远—安岳—南充一带滩体的深入研究进一步揭示,滩体连片叠置成数条滩带,整体呈北东向展布,这可能受同生断裂造成的次级古地貌高所控制。

5 结 语

四川盆地寒武统龙王庙组颗粒滩主要由砂屑白云岩、鲕粒白云岩、晶粒白云岩、斑状白云岩等组成,发育滩主体、滩翼和滩坪三个微相,其中滩主体最有利于储层发育。颗粒滩分布在高位域,总体由多期向上变浅的高频旋回叠置而成,每期滩体厚度达 2~20m,宽 0.9~1.5km,多期滩体的叠置可形成累计厚 18~55m、宽 7~8km、长百余千米的滩带。滩带展布受古构造和海平面变化的控制,主要发育在由台隆背景演化而成的白云岩坪相带,总体环绕潟湖分布。这一认识能有效指导滩体预测和提高钻探成功率。

参 考 文 献

[1] 李天生. 四川盆地寒武系沉积成岩特征与油气储集性[J]. 矿物岩石,1992,12(3):66-73.

[2] 汪泽成,赵文智,张林,等. 四川盆地构造层序与天然气勘探[M]. 北京:石油工业出版社,2002.

[3] 徐世琦,洪海涛,师晓蓉. 乐山—龙女寺古隆起与下古生界含油气性的关系探讨 [J]. 天然气勘探与开发,2002,25(3): 10-16.

[4] 宋文海. 乐山—龙女寺古隆起大中型气田成藏条件研究 [J]. 天然气工业,1996,16(增刊):12-26.

[5] 黄文明,刘树根,张长俊,等. 四川盆地寒武系储层特征及优质储层形成机理[J]. 石油与天然气地质,2009,30(5):566-575.

[6] 黄文明,刘树根,王国芝,等. 四川盆地地下古生界油气地质条件及气藏特征[J]. 天然气地球科学,2011,22(3):466-475.

[7] 刘树根,马永生,蔡勋育. 四川盆地震旦系—下古生界天然气成藏过程和特征 [J]. 成都理工大学学报:自然科学版,2009,36(4):345-352.

[8] 李晓清,汪泽成,张兴为,等. 四川盆地古隆起特征及对天然气的控制作用[J]. 石油与天然气地质,2001,22(4):347-351.

- [9] 罗志立,刘顺,徐世琦,等. 四川盆地震旦系含气层中有利勘探区块的选择[J]. 石油学报,1998,19(4): 1-7.
- [10] 周进高,郭庆新,沈安江,等. 四川盆地北部孤立台地边缘飞仙关组鲕滩储层特征及成因[J]. 海相油气地质,2012,17(2):57-62.
- [11] 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): 940-949.
- [12] 曾德铭,石新,王兴志,等. 川西北地区下二叠统栖霞组滩相储层特征及其分布[J]. 天然气工业,2010,30(12):25-29.
- [13] 王兴志,王振宇,马青,等. 塔里木盆地中部生物屑灰岩段滩体特征及储集性 [J]. 石油与天然气地质,2002,23(1): 58-63.
- [14] 周进高,邓红婴,范国章,等. 塔中 I 号断裂带奥陶系良里塔格组礁滩储集体模式与预测[J]. 海相油气地质,2008,13(3):17-23.
- [15] 陈小炜,牟传龙,葛祥英,等. 华北地区寒武系第三统鲕粒滩的展布特征及其控制因素[J]. 石油天然气学报,2012,34(11):8-15.
- [16] 万晶,孙玉朋. 颗粒滩相碳酸盐岩储层发育演化的主控因素[J]. 断块油气田,2009,16(4):60-62.
- [17] Loean J P,Purser B H. Distribution and ultrastructure of Holocene ooids in the Persian Gulf[M]// Purser B H. The Persian Gulf,Holocene carbonate sedimentation and diagenesis in a shallow epicontinental sea. Springer - Verlay,1973:279-328.
- [18] 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.
- [19] Halley R B,Harris P M,Hine A C. Bank marginal environment[J]// Scholle P A,Bebout D G,Moore C H. Carbonate depositional environments. AAPG memoir,1983,33(1):463-506.

编辑:吴厚松,赵国宪

## Characteristics and Distribution Rule of Lower Cambrian Longwangmiao Grain Beach in Sichuan Basin

Yao Genshun, Zhou Jingao, Zou Weihong, Zhang Jianyong, Pan Liyin,  
Hao Yi, Wang Fang, Gu Mingfeng, Dong Yong, Zheng Jianfeng,  
Ni Chao, Xin Yongguang

**Abstract:** The Lower Cambrian Longwangmiao grain beach sediments are of good potential of gas exploration in Sichuan basin. Based on the data from outcrops, cores and thin sections, and combined with the seismic interpretation, it is shown that the grain beach facies is composed of doloarenite, oolitic dolostone, crystalline grain dolostone and porphyritic dolostone in lithology. The grain beach facies includes three microfacies: the beach body, bank wings and beach flats microfacies. The reservoir mainly consists of the bank body microfacies. Grain beach contains multiple frequencies of shallowing-upward cycles. Each frequency of beach body is 2~20m in thickness and 0.9~1.5km in width. Multiphase beach bodies are superimposed to form a 18~55m thick, 7~8km wide and hundreds km long beach belt. The beach belt mainly develops in upheaval areas of the platform and distributes around the lagoon, which is controlled by ancient structures and sea-level changes. This viewpoint is useful to predicting the location of the Longwangmiao grain beach and helpful to improving the success rate of drills.

**Key words:** Lower Cambrian; Longwangmiao Formation; Dolostone; Sedimentary Facies characteristics; Distribution Rule; Sichuan Basin

Yao Genshun; male, D Sc, Research Professor. Add: PetroChina Hangzhou Institute of Geology, 920 Xixi Rd., Hangzhou, Zhejiang, 310023, China