

文章编号:1673-8926(2010)02-0024-08

# 四川盆地东部五百梯地区长兴组礁、滩相储层特征

文华国<sup>1</sup>, 郑荣才<sup>1</sup>, 党录瑞<sup>2</sup>, 郑超<sup>2</sup>, 赵灿<sup>1</sup>, 王鹏飞<sup>3</sup>

(1.成都理工大学“油气藏地质及开发工程”国家重点实验室; 2.中国石油西南油气田分公司重庆气矿;  
3.中国石油玉门油田分公司)

**摘 要:**对川东五百梯地区上二叠统长兴组储层发育特征及成因的研究表明,该区长兴组储层储集空间以粒间溶孔、晶间溶孔、超大溶孔和溶洞为主,储集岩主要为颗粒白云岩、礁白云岩和晶粒白云岩,孔隙结构较差,整体上属裂缝-孔隙型低孔、中低渗储层;储层发育主要受沉积微相和成岩作用控制,其中受海侵背景影响的台缘礁、滩相带控制了储层的时空分布,礁坪浅滩、骨架礁和粘结礁为最有利储层发育的微相,白云石化和溶蚀作用对储层的改造至关重要,优质储层的形成是埋藏白云石化作用、早期溶蚀作用、中期中—深埋藏溶蚀作用、晚期深埋藏溶蚀作用以及与 TSR 有关的氢硫酸溶蚀作用多期叠加的结果。

**关键词:**礁、滩相;储层特征;埋藏白云石化;溶蚀作用;上二叠统长兴组;四川盆地东部

**中图分类号:**TE122.2+3

**文献标识码:**A



四川盆地东部上二叠统长兴组多口高产工业气井的钻获,及以黄龙场、五百梯、高峰场和普光为代表的一系列长兴组礁、滩相气田的发现,已引起沉积学家和石油地质学家对礁、滩相沉积及其与油气藏成因关系的高度重视

[1~13]。五百梯地区经多年的勘探实践,已被证实是一个大型地层-构造复合圈闭气藏,其中长兴组礁、滩相气藏具备良好的勘探前景[4,5]。国内众多针对该气田的研究多侧重于长兴组沉积相与储渗单元划分[7]、裂缝分布规律[8]、生物礁测井预测[9]、温压场[10]和成藏史[11]等方面,而针对长兴组储层发育特征的相关研究则涉及很少。因此,有必要对该地区长兴组储层发育特征和控制因素开展深入研究,以期对五百梯地区乃至川东地区长兴组礁、滩相气藏滚动勘探提供重要依据。

## 1 地质背景

五百梯地区位于四川省开江县和重庆市开县境内,区域构造上位于印支期的开江古隆起东北斜

坡,是大天池构造带北倾没端东翼断裂带下盘的潜伏构造,构造形态为一短轴状背斜,剖面形态为箱状。其邻区发育有黄龙场、大猫坪和高峰场等含气构造带(图 1),各构造带均呈北东—南西向带状展布,区域上属于川东弧形褶皱构造带的东北段。该弧形褶皱带是后期叠加构造,其空间展布与北西—南东向延伸的开江—梁平台内海槽的走向近于正交,表明该构造带与开江—梁平台内海槽的形成演

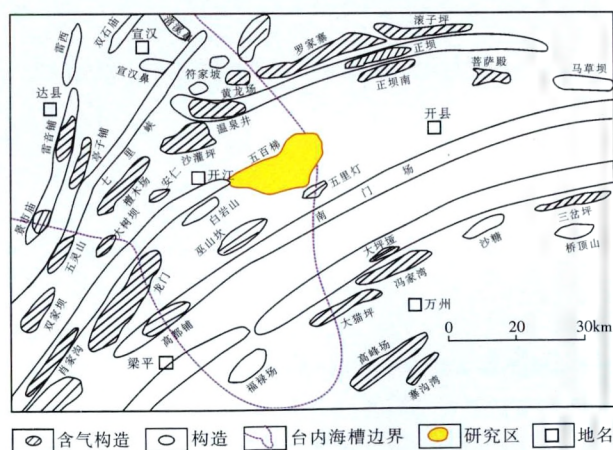


图 1 研究区构造位置图

Fig. 1 The structural location of the study area

收稿日期:2010-01-17;修回日期:2010-03-20

基金项目:国家自然科学基金项目(编号:40672073)和四川省博士后科研特别资助奖励项目“川东北地区长兴组—飞仙关组超压发育机制与天然气藏勘探”。

第一作者简介:文华国,1979年生,男,讲师,博士后,从事沉积学的教学和科研工作。地址:(610059)成都理工大学沉积地质研究院。电话:(028)84079372。E-mail:wenhuguo@yahoo.cn

化过程虽没有直接关系,但其构造叠加作用对环海槽东段五百梯地区分布的长兴组礁、滩相油气藏具有极其重要的控制作用。

## 2 储层特征

### 2.1 沉积相类型

以岩心观察、测井、薄片鉴定为基础的精细沉积相分析表明,五百梯地区长兴组发育有台地前缘缓斜坡、台地边缘生物礁、台地边缘浅滩和开阔台地等岩相类型(图2)。

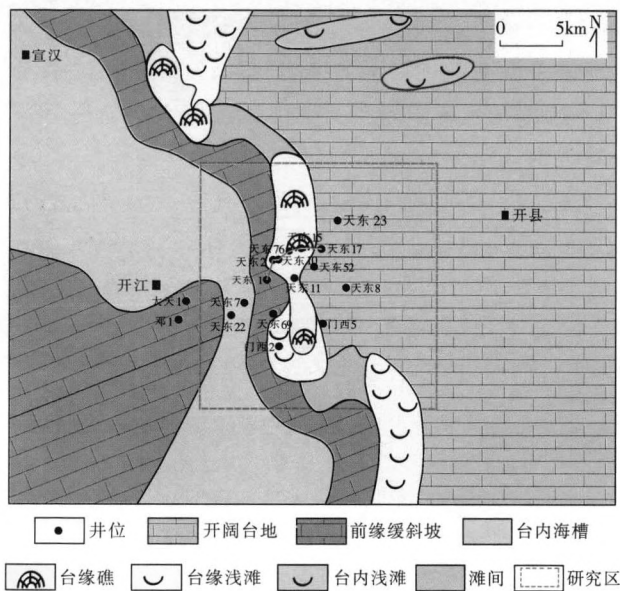


图2 开江—梁平台内海槽东段长兴组岩相古地理  
Fig. 2 Lithofacies palaeogeography of Changxing Formation in eastern Kaijiang-Liangping intraplateform trough

### 2.2 储层岩石类型

研究区长兴组以灰岩为主,其次为白云岩,偶夹薄层状泥页岩。其中灰岩可细分为泥—微晶灰岩、含生物屑泥—粉晶灰岩、泥—微晶生物屑灰岩、亮晶生物屑灰岩、礁灰岩;白云岩包括非常致密的泥—微晶白云岩,以及发育有孔隙的颗粒和晶粒白云岩,或保存有生物结构的礁白云岩。储层主要发育在颗粒(礁)白云岩、晶粒白云岩和部分碎裂化白云岩中。

### 2.3 储集空间类型

五百梯地区以台地边缘生物礁和浅滩相的礁白云岩、颗粒白云岩和晶粒白云岩为有利储集岩类,储层孔隙类型丰富,主要包括原生孔隙、次生孔隙和裂缝。根据孔—缝组合关系,大多数储层属于以次生孔隙为主的裂缝—孔隙型储层。

#### 2.3.1 原生孔隙

该类孔隙主要发育在沉积期后至浅埋藏期的海绵、骨屑、藻屑灰云岩中,包括原生粒间孔、礁骨架孔和生物体腔孔,但由于成岩胶结作用和充填作用,原生孔隙已大多被充填堵塞,致使这类孔隙遭受严重破坏而逐渐丧失。

#### 2.3.2 次生孔隙

(1) 粒间溶孔 大多数粒间溶孔是颗粒之间的胶结物和基质被溶蚀后所形成的(图版 I-1、图版 I-2)。在礁白云岩、残余生屑白云岩和白云质礁角砾岩中较发育,是长兴组最重要的储集空间类型。

(2) 粒内溶孔 这类孔隙少部分是在长兴组多次成礁旋回的早期暴露环境中大气淡水对海绵、螺、藻屑和有孔虫进行不完全溶蚀而形成,大部分则于中成岩埋藏期颗粒白云石化后由有机酸溶蚀而形成,成岩晚期溶孔局部会被白云石充填(图版 I-3)。主要分布于部分生物碎屑、海绵、藻屑组构中,形态不规则,孔径为 0.2~1.5 mm,是长兴组较常见的孔隙类型。

(3) 铸模孔 这类孔隙为研究区主要的孔隙类型,在不同岩石中其数量不同,通常在 0~8%,对储层贡献较大。铸模孔与选择性溶蚀密切相关,在以往的研究中常被解释为近地表环境大气淡水溶蚀作用的结果,但近年来一些学者认为该类孔隙的形成可能与 BSR(细菌硫酸盐还原)或埋藏成岩有关<sup>[14]</sup>,研究区这类孔隙也可能属于此种成因,并且具有随溶蚀作用的持续进行易溶骨屑粒内溶孔被进一步溶蚀扩大,直到颗粒全部被溶蚀的特点(图版 I-4)。据郑荣才等研究<sup>[15]</sup>,发育铸模孔的岩类  $\delta^{13}\text{C}$  值在 1.729‰~2.965‰,平均值为 2.465‰,  $\delta^{18}\text{O}$  值在 -4.066‰~2.338‰,平均值为 -3.474‰,与长兴组正常海相沉积的微晶灰岩基本一致。C、O 同位素数据支持该区铸模孔应属于埋藏条件下海缘地层水溶蚀的产物,而与地表水无关。

(4) 晶间孔、晶间溶孔和溶洞 晶间孔在成岩期埋藏交代成因的晶粒状白云岩中最具代表性(图版 I-5),但值得注意的是,仅以晶间孔单独作为储集空间在研究区却很少见,这类孔隙往往伴有溶蚀扩大而形成晶间溶孔或超大溶孔,多为中孔和大孔,部分为溶洞(图版 I-6),孔径可达 2~10 mm,面孔隙率 5%~18%,从而成为最重要的储集空间类型。在这类孔隙中,交代成因的晶粒白云岩及晶间孔主要是中成岩阶段 A 期埋藏白云石化的产物<sup>[16]</sup>,而现

今见到的各种晶间溶孔和超大溶孔是在埋藏白云石化作用后再经受溶蚀作用而形成的。

### 2.3.3 裂缝

作为连通碳酸盐岩储集层孔隙、空穴的通道,裂缝的作用至关重要。五百梯地区常见的裂缝包括成岩压溶缝和构造破裂缝(图版 I-7、图版 I-8),这2类裂缝对储层的改造最为明显。沿压溶缝往往发育有串珠状溶孔,孔、缝内虽然常有方解石、石英、石膏、天青石、萤石和黄铁矿等次生矿物局部充填,但对改善储层的孔、渗性仍具有重要意义。构造破裂缝一般以缝宽 0.05~0.2 mm 的小缝和中缝为主,个别为缝宽大于 0.5 mm 的大缝,充填物很少,对提高储层孔、渗性和连通性贡献最大。

## 2.4 储层物性特征

### 2.4.1 孔、渗特征

长兴组礁、滩相储层孔隙度分布在 0.01%~20.26%,平均值为 2.65%,主峰位于 1%~2%;渗透率分布在 0.01~1 313.02 mD,平均值为 8.0 mD,主峰位于 0.1~1.0 mD,属于典型的低孔、中低渗储层。

### 2.4.2 孔隙结构特征

#### (1) 喉道形态类型及特征

长兴组礁、滩相储层喉道类型以孔隙缩小型、缩颈型、管状喉道型与片状喉道型为主,而点状喉道基本未见。最大连通孔喉半径( $R_{c10}$ )为 0.23~41.97  $\mu\text{m}$ ,平均为 9.18  $\mu\text{m}$ ,中值孔喉半径( $R_{c50}$ )为 0.02~5.04  $\mu\text{m}$ ,平均为 0.33  $\mu\text{m}$ 。其中  $R_{c50}<0.1 \mu\text{m}$  的样品占 58.62%, $0.1 \mu\text{m}<R_{c50}<0.5 \mu\text{m}$  的样品占 31.03%, $0.5 \mu\text{m}<R_{c50}<2.0 \mu\text{m}$  的样品占 6.9%, $R_{c50}>2.0 \mu\text{m}$  的样品占 3.49%。在产出规模上,多以中喉、微喉为主,少量粗喉。

#### (2) 孔喉组合关系

长兴组储层的储集空间虽由多种类型的孔隙组合而成,但往往以其中一种或几种孔隙占主导地位。铸体薄片资料显示,岩石的各种溶孔虽然较发育,但孔隙之间的连通性仍然较差,孔喉关系以中、小孔-中细喉型组合为主,小孔-细、微喉型组合与小孔-微喉型组合次之,少部分为中、小孔-中粗喉型组合以及微孔-微喉型组合。

#### (3) 毛管压力曲线特征

岩石压汞测试分析显示,饱和度中值压力为 0.02~12.67 MPa,平均值为 1.19 MPa;进汞率为 55.39%~85.83%,平均为 75.26%;退汞率为 34.47%

~80.44%,平均为 63.31%。总体表现出饱和度中值压力较大、退汞压力较小、退汞率较高、孔喉较小和均值较高的特点。毛管压力曲线平直段短,孔隙分选较差—中等,大孔喉所占孔隙体积比例小,以小孔隙为主。曲线类型以陡斜式为主,平台型不发育,孔喉半径小且分选性较差,歪度细。

## 3 影响储层发育的主要因素

### 3.1 沉积相是影响储层发育的先决条件

在碳酸盐岩储层的形成与演化中,沉积作用是基础<sup>[17]</sup>,在影响碳酸盐岩台地沉积建造的诸多因素中,海平面变化无疑是造成沉积相分异的最重要原因。近年来我国学者<sup>[18]</sup>认为华南晚二叠世为最大海侵期,生物礁是在大的海侵背景下受局部构造影响而形成。五百梯地区长兴组生物礁主要发育于长兴组中、晚期,该时期随着海侵的持续,广旺海槽与城口—鄂西海槽进一步扩大,并和开江—梁平海槽相连通,沿海槽运动的洋流给研究区缓坡边缘带来了大量的营养物质,易形成台地边缘礁。

(1) 在多个次一级的海平面升降变化条件下,这些生物礁旋回多具有 2 个以上的成礁旋回。以研究区天东 1 井—天东 2 井—天东 10 井—天东 76 井—天东 15 井—天东 17 井—一线为例(图 3),长长期在靠近开江—梁平台内海槽区台地边缘带的天东 2 井、天东 10 井、天东 76 井和天东 15 井形成大量海侵并进型礁,且发育多个成礁旋回,其中以天东 2 井和天东 10 井纵向上礁微相类型最丰富,包括礁前塌积、礁坪和礁核,夹台地边缘浅滩相;长兴末期,受海退引发的暴露剥蚀作用的影响,上覆的浅水或蒸发相沉积物无一残留,天东 76 井—天东 15 井—一线均为前缘斜坡相,沉积物为泥—微晶灰岩夹燧石结核灰岩,仅局部白云石化,天东 17 井则递变为开阔台地相潮下静水泥沉积,储层不发育。

(2) 从白云岩的厚度分布来看,五百梯构造海侵期形成的白云岩厚度相对较大,高者厚度大于 20 m;而在大猫坪构造和高峰场构造仅于个别井如云安 14 井和峰 18 井发育白云岩,在云安 18 井和邓 1 井也发育少量白云岩。在平面上白云岩主要沿开江—梁平台内海槽周缘的台地边缘带分布,尤以东部的五百梯构造台地边缘带白云岩分布较为普遍且有利于储层发育。

(3) 从沉积微相与物性的关系分析:①礁坪、骨

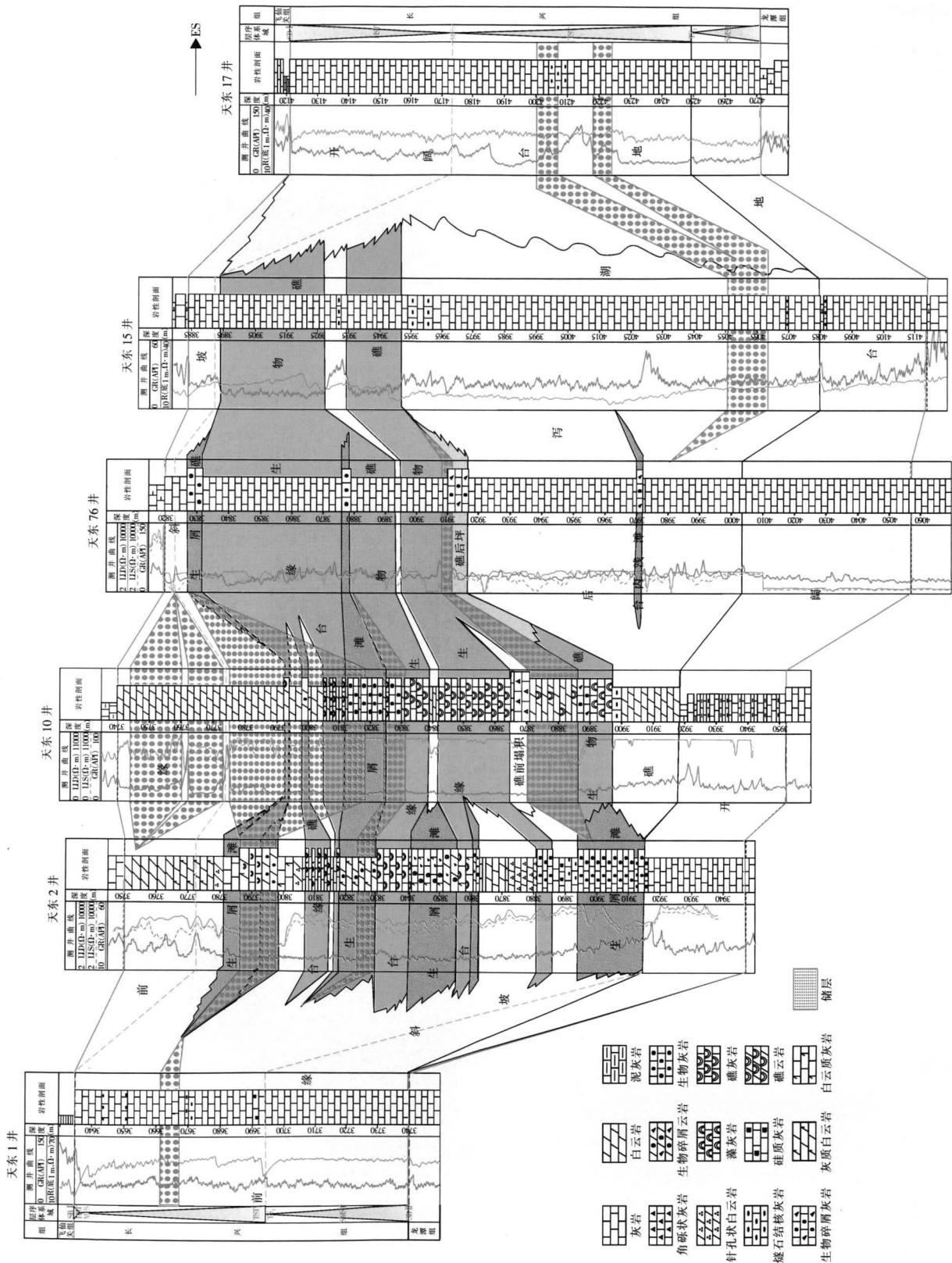


图3 五百梯地区长兴组礁、滩相沉积与储层分布关系 Fig. 3 The relation of reservoir distribution with reef and shoal facies of Changxing Formation in Wubaiti area

架礁和粘结礁孔隙度较高,其次为生屑滩和浅水缓坡,而大部分潮坪、泻湖、静水泥、障积礁及塌积角砾等微相孔隙度普遍较低,一般不利于储层发育;  
 ②渗透率以塌积角砾、骨架礁和粘结礁相对较高,其次为浅水缓坡、潮坪、障积礁和生屑滩微相,而静水泥和泻湖微相的渗透率很低,为无效储层。

(4) 五百梯构造长兴组沉积相和储层纵、横对比分析表明,天东2井和天东10井储层较发育,主要产于长兴组中、上部台地边缘生物礁和浅滩相白云岩中,如天东10井储层主要产于台地边缘生物礁和滩相的白云岩中,天东76井由于生物礁和浅滩相白云岩厚度较薄,其储层厚度也相对较薄(图3);大部分储层发育于台地边缘生物礁和浅滩组合的岩隆带核心部位,也有少量储层发育于前缘斜坡和开阔台地相的灰岩中(如天东17井),但其厚度较薄。

3.2 成岩作用是影响储层发育的关键因素

沉积微相和建设性成岩作用是碳酸盐岩优质储层形成的两大因素,其中前者是基础也是先决条件,而后者往往与有利相带叠合,成为储层发育的关键。五百梯地区长兴组碳酸盐岩成岩作用类型丰富(图4),与储层密切相关且贡献较大的是白云石

化和溶蚀作用等建设性成岩作用。

3.2.1 白云石化作用

研究区大多数钻井揭示长兴组储层的发育与白云石化作用密切相关,且白云石化作用在源岩具备良好孔、渗条件的生物碎屑灰岩和海绵礁灰岩中最发育,而在泥—微晶灰岩、生屑泥晶灰岩中发育较差,形成的礁白云岩、生物屑白云岩和结晶白云岩储集性能最佳。可以说,成岩期多期次埋藏白云石化是形成长兴组碳酸盐岩储层最为重要的成岩作用<sup>[13]</sup>。研究区白云石化作用可分为早成岩阶段埋藏白云石化、中成岩阶段埋藏白云石化、晚成岩阶段埋藏白云石化等几个阶段,结合C、O、Sr同位素地球化学特征,各阶段白云石化流体具有以下特征:

(1) 在 $\delta^{13}C$ 与 $\delta^{18}O$ 关系图(图5)中,各类碳酸盐岩氧同位素组成具有随成岩强度加大,负偏值增大的演化趋势。其中以准同生白云岩负偏值最小,晚期方解石负偏值最大,其它各类成岩期白云岩介于两者之间,显示埋藏交代成因特征;根据同位素分馏原理,蒸发作用会使重同位素水留在蒸发海水中的残留相中,这种同位素分馏会导致蒸发海水的稳定同位素比正常海水的稳定同位素偏正一些,因此,准同生白云岩的氧同位素值应当比海水胶结物和埋藏白云岩更偏正<sup>[19,20]</sup>。另外,与晚二叠世海水的氧同位素分布比较,准同生白云岩的 $\delta^{18}O$ 趋于蒸发效应,略高于同期海水的 $\delta^{18}O$ 值;成岩期的白云岩除极少量早成岩阶段的白云岩外, $\delta^{18}O$ 值几乎都比同期海水偏负,显示埋藏白云石化特征。

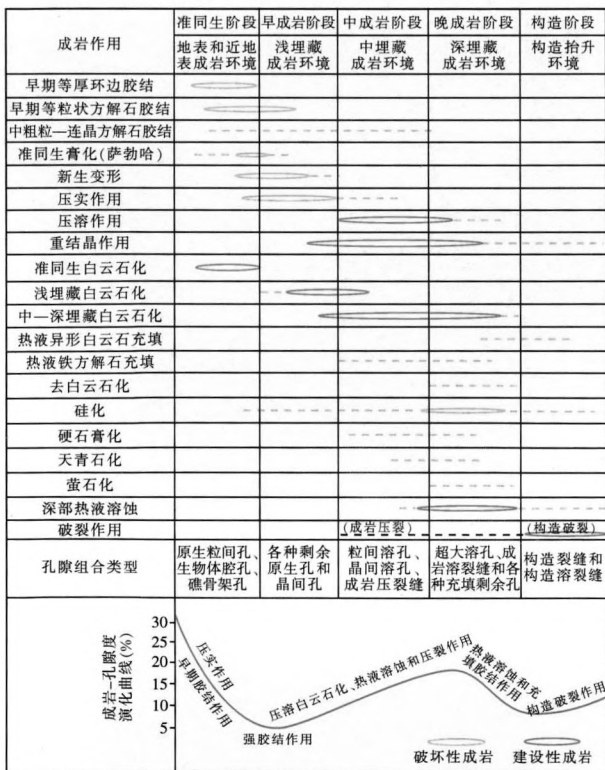


图4 五百梯地区长兴组成岩阶段划分和演化模式  
 Fig. 4 Diagenetic stage division and evolution pattern of Changxing Formation in Wubaiti area

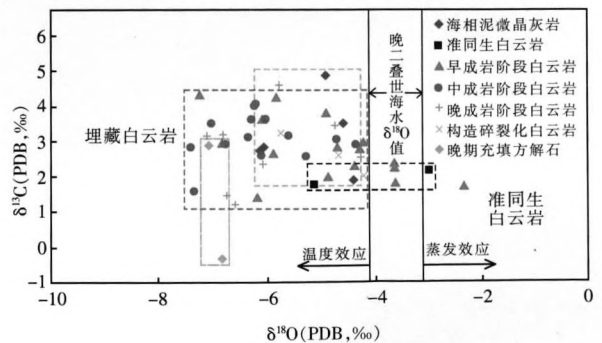


图5 五百梯地区各类碳酸盐岩 $\delta^{13}C$ 与 $\delta^{18}O$ 关系图  
 Fig. 5 The relation between the  $\delta^{13}C$  and  $\delta^{18}O$  of different carbonate rocks in Wubaiti area

(2) 各类白云岩 $^{87}Sr/^{86}Sr$ 比值均高于同时期海水 $^{87}Sr/^{86}Sr$ 比值(表1),表明岩石经历了白云石化成岩流体的改造;各类成岩期白云岩的 $^{87}Sr/^{86}Sr$ 比值变化范围和均值均介于准同生白云岩和晚期热液方解石之间,其中早成岩阶段埋藏白云岩 $^{87}Sr/^{86}Sr$

表1 长兴组各类碳酸盐岩 C、O 同位素值和  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  比值一览表

Table 1 The  $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{18}\text{O}$  and  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  ratios of different carbonate rocks of Upper Permian Changxing Formation

岩石类型	$\delta^{13}\text{C}$ (‰, PDB)	$\delta^{18}\text{O}$ (‰, PDB)	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值
准同生白云岩	2.186	-2.979	0.709 300
早成岩白云岩	1.729~2.965 (2.465)	-4.066~-2.338 (-3.474)	0.707 027~0.709 327 (0.707 909)
中成岩白云岩	2.906~3.587 (3.012)	-3.652~-4.484 (-4.415)	0.706 592~0.707 860 (0.706 910)
晚成岩白云岩	2.535~3.425 (2.98)	-5.384~-4.044 (-4.714)	0.706 755~0.707 741 (0.707 248)
构造碎裂化白云岩	2.021~2.610 (2.312)	-4.473~-4.001 (-4.237)	0.706 670~0.708 821 (0.707 746)
晚期充填溶孔的热液方解石	-5.460~1.956 (-0.785)	-7.383~-4.618 (-6.702)	0.707 809 (1件样)

注:1.C、O 同位素由中国石油西南油气田分公司勘探开发研究院地质实验室分析,测试仪器:MAT252 气体同位素质谱仪;实验条件:温度 22℃,湿度 50%;检测依据:SY/T 6039-94。2.Sr 同位素由成都理工大学同位素实验室尹观教授分析,测试仪器:MAT252 气体同位素质谱仪;实验条件:温度 22℃,湿度 50%;检测依据采用美国国家标准局标准样品 NBS987。3.括号内数值为平均值。

比值偏向于准同生白云岩,中—晚成岩阶段埋藏白云岩和构造碎裂白云岩  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  比值偏向于热液方解石,说明后两者受高温热液影响更大。

(3) 如果白云石化流体是埋藏条件下地层卤水,那么白云岩  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  比值应当高于晚二叠世海水的  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  比值<sup>[16]</sup>,研究区几乎所有成岩阶段的白云岩都具备这一特征,结合 C、O 同位素分析,不难确定长兴组白云岩属于埋藏白云石化作用产物。

### 3.2.2 溶蚀作用

溶蚀作用对碳酸盐岩优质储层的形成往往具有决定性作用<sup>[21,22]</sup>,包括同生期、准同生期、埋藏期热液流体溶蚀和表生期岩溶等类型。五百梯地区长兴组白云岩储层溶蚀作用包括早期溶蚀作用(同生期、准同生期)、中期中—深埋藏溶蚀作用、晚期深埋藏溶蚀作用及与 TSR 有关的溶蚀作用等类型,具有多期、多类型溶蚀作用叠加的特征(图版 I-3、图版 I-4、图版 I-6),对优质储层的形成贡献很大。

(1) 早期溶蚀作用主要发生在近地表环境,常见的有海绵、螺类及少数蜓等易溶骨屑的选择性溶蚀作用。由于礁、滩沉积时常处于古地貌高部位,所形成的礁或滩的建隆最易在海平面的波动下发生暴露,并接受大气淡水的溶蚀,这一过程形成的孔隙为成岩阶段溶蚀作用奠定了基础,同时也是礁坪储集物性好于礁核的根本原因。

(2) 埋藏溶蚀作用发生在早期埋藏白云石化之后,其中,中—深埋藏成岩阶段为无组构选择性的全岩溶蚀作用,主要发生在粉—细晶白云岩中,以白云石晶间溶孔和粒内溶孔为主,其次为铸模孔(图版 I-4),也可见到压溶缝或破裂缝溶蚀扩大形成的溶缝(图版 I-7),此类溶孔多呈半充填状,有利于储层发育。晚期深埋藏溶蚀形成的孔、洞常常破坏或切割早期胶结组构,所形成的晶间溶孔、铸模孔及超大溶孔(图版 I-6)和溶洞最有利于储层发育。

(3) 作为形成高孔、高渗优质储层和高含硫气藏的重要成因机制——TSR 作用,已成为川东地区碳酸盐岩储层研究的热点<sup>[23,24]</sup>。近期的研究认为,在深埋条件下由于  $\text{H}_2\text{S}(\text{ag}) \rightleftharpoons \text{H}_2\text{S}(\text{g})$  这一反应更加趋于向正反应方向进行,  $\text{H}_2\text{S}$  常以气体形式存在,很少溶于水,因而其于深埋藏的高温条件下对碳酸盐矿物的溶解能力有限<sup>[24]</sup>,且  $\text{H}_2\text{S}$  对储层真正意义上的溶蚀改造主要是沿泄压、降温的低点疏导系统(诸如断层和古喀斯特作用面等)发生,因此,在破裂缝和裂溶缝发育的部位溶蚀强度大,从而引起白云石强烈溶解,它既可以使早期的溶孔、溶缝扩溶,也可以形成新的溶蚀孔、洞,同时伴生自然硫和自生黄铁矿的沉淀(图版 I-9)。

## 4 结论

(1) 五百梯地区长兴组礁、滩相储层储集空间类型主要为粒间溶孔、晶间溶孔、超大溶孔和溶洞,储集岩主要为颗粒白云岩、礁白云岩和晶粒白云岩,孔隙结构总体较差,整体上属于以次生孔隙为主的裂缝—孔隙型低孔、中低渗储层。

(2) 长兴组储层的发育严格受沉积微相控制,台地边缘生物礁和浅滩组合的岩隆带直接控制了储层的空间分布,礁坪浅滩、骨架礁和粘结礁为最有利储集微相,可作为储层预测评价的优选对象。

(3) 长兴组白云岩储层为埋藏白云石化作用的产物,破裂溶蚀作用对改造和提高储层质量至关重要,优质储层的形成往往是埋藏白云石化作用、早期溶蚀作用、中期中—深埋藏溶蚀作用、晚期深埋藏溶蚀作用以及与 TSR 有关的氢硫酸溶蚀作用多期叠加的结果。

### 参考文献:

- [1] 王一刚,张静,杨雨,等.四川盆地东部上二叠统长兴组生物礁气藏形成机理[J].海相油气地质,1997,5(1):145-152.

- [2] 张兵,郑荣才,文华国,等.开江—梁平台内海槽东段长兴组礁滩相储层识别标志及其预测[J].高校地质学报,2009,15(2):273-284.
- [3] 马永生,蔡勋育,李国雄.四川盆地普光大型气藏基本特征及成藏富集规律[J].地质学报,2006,79(6):861-865.
- [4] 周刚,郑荣才,王炯,等.川东—渝北地区长兴组礁、滩相储层预测[J].岩性油气藏,2009,21(1):15-21.
- [5] 沈平,徐人芬,党录瑞,等.中国海相油气田勘探实例之十一:四川盆地五百梯石炭系气田的勘探与发现[J].海相油气地质,2009,14(2):71-79.
- [6] 李联新,胡红,罗泽松.川东高峰场构造长兴组生物礁储层测井评价[J].岩性油气藏,2008,20(4):118-205.
- [7] 徐国盛,朱建敏,周存俭,等.川东五百梯石炭系气藏沉积微相特征及其储渗单元划分[J].物探化探计算技术,2009,31(5):447-453.
- [8] 魏钦廉,赵平海,付顺,等.川东五百梯地区石炭系储集层裂缝分布规律[J].新疆石油地质,2007,28(2):150-154.
- [9] 任兴国,罗利,姚声贤,等.川东地区生物礁测井预测方法研究[J].石油勘探与开发,2000,27(1):41-43.
- [10] 尹亚辉,蒋有录,Leonard J E.川东地区五百梯构造天然气运聚成藏史模拟研究[J].石油大学学报,2000,24(4):119-124.
- [11] 薛海涛,赵莹,樊立新,等.川东五百梯气田成藏史的碳同位素分馏化学动力学分析[J].大庆石油学院学报,2009,33(2):20-23.
- [12] 王延奇,胡明毅,刘富艳,等.鄂西利川见天坝长兴组海绵礁岩石类型及礁体演化阶段[J].岩性油气藏,2008,20(3):44-55.
- [13] 林辉,周凯.毛坝场构造二叠系长兴组气藏特征[J].岩性油气藏,2008,20(4):80-86.
- [14] Melim L A, Westphal H, Swart P K, et al. Questioning carbonate diagenetic paradigms: evidence from the Neogene of the Bahamas [J]. Marine Geology, 2002, 185: 7-53.
- [15] 郑荣才,史建南,罗爱君,等.川东北地区白云岩储层地球化学特征对比研究[J].天然气工业,2008,28(11):16-21.
- [16] 郑荣才,胡忠贵,冯青平,等.川东北地区长兴组白云岩储层的成因研究[J].矿物岩石,2007,27(4):78-84.
- [17] 倪新峰,陈洪德,田景春,等.川东北地区飞仙关组—长兴组沉积格局与成藏控制意义[J].石油与天然气地质,2007,28(4):458-465.
- [18] 殷洪福,童金南,丁梅华,等.扬子区晚二叠世—中三叠世海平面变化[J].地球科学,1994,19(5):627-632.
- [19] 姚涇利,王保全.鄂尔多斯盆地奥陶统马家沟组马五段白云岩的地球化学特征[J].沉积学报,2009,27(3):381-399.
- [20] Allan J R, Wiggins W D. Dolomite reservoirs—Geochemical technique for evaluating origin and distribution[J]. AAPG Continuing Education Course Note Series, 1993, 36: 129.
- [21] 叶朝阳,秦启荣,龙胜祥,等.川西飞仙关组海相碳酸盐岩储层特征与评价[J].岩性油气藏,2009,21(1):61-65.
- [22] 李宇翔,李国蓉,顾炎午,等.塔中地区寒武系—下奥陶统白云岩层序不整合面控制的大气水溶蚀作用研究[J].岩性油气藏,2009,21(2):45-48.
- [23] 朱光有,张水昌,梁英波.中国海相碳酸盐岩气藏硫化氢形成的控制因素和分布预测[J].科学通报,2007,52(1):115-125.
- [24] 张水昌,朱光有,梁英波.四川盆地普光大型气田 H<sub>2</sub>S 及优质储层形成机理探讨——读马永生教授的“四川盆地普光大型气田的发现与勘探启示”有感[J].地质论评,2006,52(2):230-235.

## Characteristics of reef and shoal facies reservoir of Upper Permian Changxing Formation in Wubaiti area, eastern Sichuan Basin

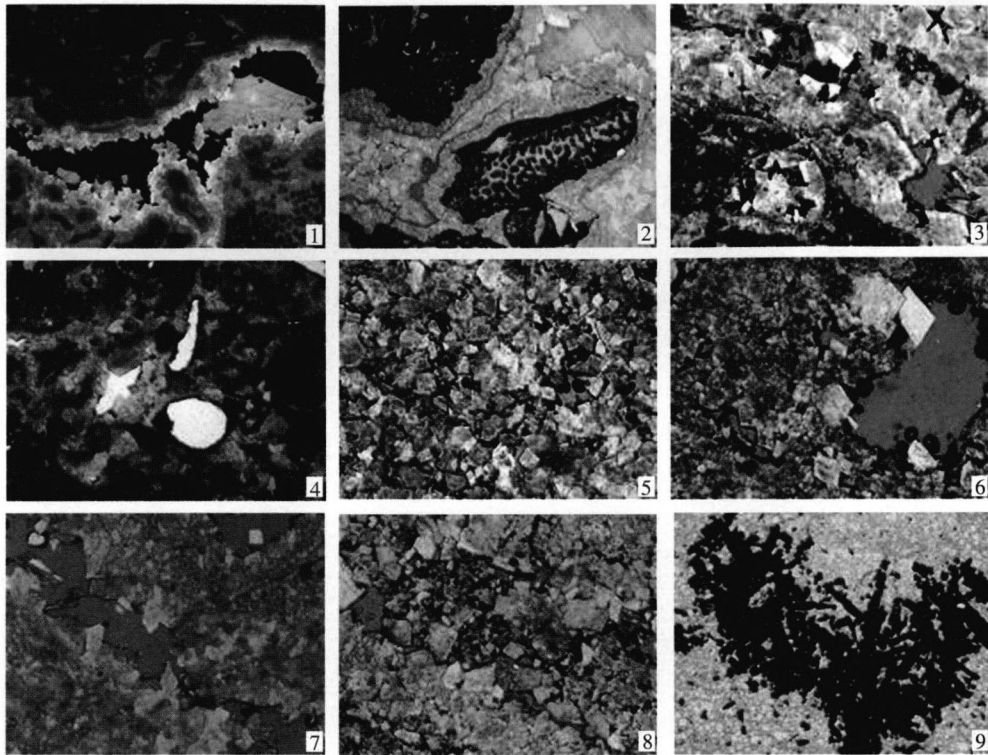
WEN Hua-guo<sup>1</sup>, ZHENG Rong-cai<sup>1</sup>, DANG Lu-ru<sup>2</sup>, ZHENG Chao<sup>2</sup>, ZHAO Can<sup>1</sup>, WANG Peng-fei<sup>3</sup>

(1. State Key Laboratory of Oil and Gas Reservoir Geology and Exploitation, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China; 2. Chongqing Gas District, Southwest Oil and Gas Company of CNPC, Chongqing 400021, China; 3. Yumen Oilfield Company of CNPC, Jiuquan 735019, China)

**Abstract:** The characteristics and genesis of Changxing Formation reservoir in Wubaiti area are studied. The result indicates that intracrystalline pores, intercrystalline solution pores, super large dissolved pores and caves supply the prominent reservoir space. The reservoir rocks are mainly grain dolomite, reef dolomite and crystal dolomite. The reservoir property is generally poor and it is attributed into fracture-pore reservoir with low porosity and medium permeability. The development of reservoir of Changxing Formation is generally controlled by microfacies and diagenesis. The reef and shoal facies of the platform edge which developed in the period of sustained transgression controlled the distribution of the reservoir. Reef platform shallows, framework reef and binding reef are favorable microfacies for reservoir space. Diageneses including dolomitization and dissolution are primarily beneficial to the reservoir quality. Excellent reservoir is always associated with the multistage burial dolomitization, early dissolution, middle dissolution at middle-anadiagenetic stage, late dissolution at anadiagenetic stage and hydrogen sulfuric acid dissolution related with TSR.

**Key words:** reef and shoal facies; reservoir characteristics; burial dolomitization; dissolution; Upper Permian Changxing Formation; eastern Sichuan Basin

图版 I



**图版 I 说明:** 五百梯地区长兴组礁、滩相储层储集空间类型及成岩作用。1. 泥晶生屑灰岩, 溶洞内充填白云石、方解石和沥青, 天东 002-11 井, 4 351.85 m, 普通薄片(-), 对角线长 0.8 mm; 2. 亮晶角砾状含生屑海绵礁白云岩, 粒间孔被栉壳状晶粒状方解石充填, 天东 74 井, 4 144.39 m, 普通薄片(-), 对角线长 0.8 mm; 3. 残余生物屑细—中晶白云岩, 残余生物屑内的粒内溶孔部分被向心生长的白云石充填, 天东 021-3 井, 4 488.12 m, 铸体薄片(-), 对角线长 0.8 mm; 4. 富有机质微晶生物屑白云岩, 少量生物屑被溶蚀后形成铸模孔, 天东 021-3 井, 4 278.47 m, 普通薄片(-), 对角线长 0.32 mm; 5. 细—中晶白云岩, 自形白云石晶体大多数具有雾心亮边结构, 晶间孔非常发育, 呈规则多面体状, 天东 10 井, 3 782.55 m, 铸体薄片(-), 对角线长 0.8 mm; 6. 具溶孔粉—细晶白云岩, 白云石晶间溶孔及溶洞, 岩石高含有有机质、沥青, 天东 21 井, 4 337.21 m, 铸体薄片(-), 对角线长 0.8 mm; 7. 中—细晶角砾状白云岩, 溶缝及溶孔发育, 天东 10 井, 3 764.90 m, 铸体薄片(-), 对角线长 1.6 mm; 8. 粉—细晶角砾状白云岩, 裂溶缝及周边晶间溶孔, 天东 021-3 井, 4 276.44 m, 铸体薄片(-), 对角线长 0.8 mm; 9. 泥—粉晶白云岩, 黄铁矿具板状、长条状石膏假象, 天东 74 井, 4 102.28 m, 铸体薄片(-), 对角线长 0.16 mm

(编辑 于惠宇)

(上接第 17 页)

## Carbonate seismic reservoir

ZHANG Hu-quan, WEI Ping-sheng, PAN Jian-guo, SUN Dong, WANG Hong-bin

(Research Institute of Petroleum Exploration and Development-Northwest(NWGI), PetroChina, Lanzhou 730020, China)

**Abstract:** Carbonate seismic reservoir is a branch subject of seismic reservoir. The particularity, research approach, content, method and key techniques of carbonate seismic reservoir are briefly expounded. And it is proposed that carbonate seismic reservoir is the key of great breakthrough for carbonate reservoir exploration and development, which will promote the development of carbonate reservoir exploration.

**Key words:** carbonate rock; seismic reservoir; research approach; research content; key technique

(编辑 于惠宇)