

# 桂中坳陷泥盆纪生物礁储层特征及演化史

王鹏万 姚根顺 陈子焯 李娴静 徐政语  
马立桥 贺训云 董 庸 黄 羚

(中国石油杭州地质研究院, 浙江 杭州 310023)

**摘要:**桂中坳陷泥盆纪生物礁滩发育, 桂中 1 井钻探证实该区存在优质生物礁灰岩和白云岩储层。野外露头、显微照片和扫描电镜等分析测试手段表明, 该区泥盆纪生物礁储集空间主要包括孔隙、裂缝和溶洞。孔隙类型有粒内溶孔、骨架孔、粒间孔、溶孔、缝合线伴生溶孔等, 以晶间溶孔、晶间孔及非组构控制的溶蚀孔、洞、缝为主, 储层类型主要为裂缝型、裂缝-孔隙型和孔隙型。沉积环境、成岩作用及构造裂缝控制有利储层的发育, 现今储集空间以埋藏溶蚀孔隙和保留下来的残余孔、洞、缝为主。地球化学和成岩作用研究表明, 储层孔隙演化与油气充注密切相关, 可能发生两期油气充注。储层焦沥青的形成主要是由于地层深埋造成原油热裂解。因此, 该区油气勘探应以原油裂解天然气为主, 寻找具有保存条件的岩性体。

**关键词:**桂中坳陷; 泥盆纪; 生物礁; 储层特征; 孔隙演化; 储层沥青

**中图分类号:** P618.130.2<sup>+</sup>1

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-3657(2011)01-0170-10

生物礁因其高孔渗特性而往往成为极好储集体。据统计, 世界上主要的生物礁大油田总储量已达  $40 \times 10^8$  t 以上<sup>[1]</sup>。泥盆纪是滇黔桂地区主要造礁期之一, 以广西南丹大厂的早—中泥盆世层孔虫—珊瑚礁古油藏最为著名, 礁体厚度可达 900 m<sup>[2]</sup>。前人对中国南方生物礁研究主要集中在生物礁类型和成因<sup>[3-5]</sup>、沉积相和层序地层充填特征<sup>[6,7]</sup>及其与油气藏、金属矿床的关系上<sup>[8-11]</sup>, 而对生物礁储层特征及古油藏演化保存研究相对薄弱。中国南方油气勘探的关键是保存条件<sup>[12]</sup>及有效储层分布, 随着川东北台地边缘礁滩相普光气田<sup>[13,14]</sup>、罗家寨气田<sup>[15]</sup>、塔中 I 号带台缘礁滩体亿吨级油气藏<sup>[16]</sup>的发现, 掀起了海相礁滩体储层勘探的热潮。中石油也加大了黔桂地区海相地层油气勘探力度, 桂中 1 井钻探证实桂中坳陷具备形成油气藏的基本石油地质条件, 是中国南方进行油气资源评价与战略选区的重要地区之一<sup>[17]</sup>。

## 1 地质背景

桂中坳陷是晚古生代在华南加里东褶皱带基础上经断陷、裂离逐渐演化形成的扬子被动大陆南部边缘盆地——滇黔桂盆地的次级构造单元<sup>[18]</sup>, 为南丹—都安断裂带、宾阳—大黎断裂带、永福—龙胜断裂带及雪峰山隆起所围限, 具有“四凹三凸一斜坡”的构造格局(图 1), 勘探面积约 46000 km<sup>2</sup>。桂中坳陷泥盆纪为台盆相间的古地貌, 台盆相的塘丁组和罗富组泥岩为主要烃源岩、台地相白云岩和生物礁灰岩为主要的储集体、台盆相和斜坡相泥岩和泥灰岩为主要盖层, 石油地质条件优越。成礁期多与海平面上升时期一致, 也是台盆与台地最大的分异时期。泥盆纪主要发育四期礁: 早泥盆世中、晚期, 中泥盆世早期, 中泥盆世中期和晚泥盆世早期, 其中以中泥盆世最为繁盛<sup>[19]</sup>。泥盆纪造礁生物以层孔虫和珊瑚

收稿时间: 2010-06-03; 改回时间: 2010-09-30

基金项目: 全国油气资源战略选区调查与评价(XQ-2007-01)资助。

作者简介: 王鹏万, 男, 1981 年生, 硕士, 工程师, 主要从事石油地质研究; E-mail: wangpw\_hz@petrochina.com.cn。

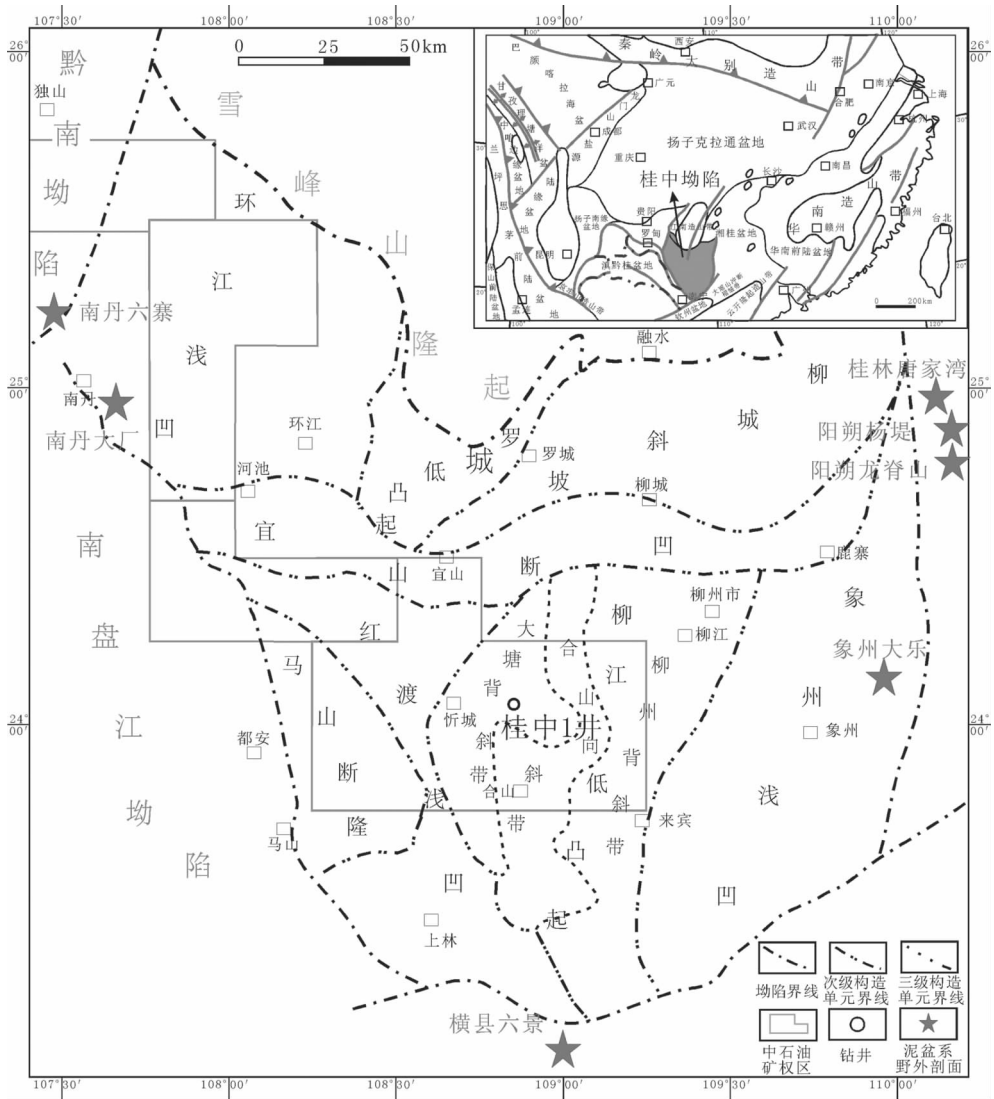


图 1 桂中坳陷构造单元划分图  
 Fig.1 Tectonic framework of Guizhong depression

为主,晚泥盆世晚期则以藻礁为主。礁滩分布与同沉积断裂密切相关,一般呈线状分布在同期大断裂台地边缘或斜坡上;也有点状分布在深水台盆中的孤立礁体,如南丹大厂龙头山生物礁。

## 2 生物礁灰岩储层特征

### 2.1 储层空间类型

桂中坳陷泥盆纪储集空间发育且类型复杂。通过对桂中 1 井及南丹大厂、南丹六寨龙里、横县六景、阳朔龙脊山、杨堤付合、桂林唐家湾、象州大乐等剖面的野外观察(剖面位置见图 1)、室内薄片和扫描电镜(露头样品 88 件)等手段分析,认为该区主要

发育原生孔隙和次生孔隙,包括孔隙、裂缝和溶洞三大基本类型。原生孔包括粒间孔、生物骨架孔、生物体腔孔等。次生孔包括晶间孔、粒内溶孔、铸模孔、溶蚀孔以及缝合线孔隙和裂隙

粒间孔主要分布在生物灰岩、鲕状灰岩中,孔隙形态多呈不规则状或多边形,粒间孔的孔径大小不一,见到不同程度沥青充填现象(图 2-a),粒间孔是浅滩相颗粒灰岩的主要孔隙空间之一。骨架孔比较常见,由生物骨骼架构而成,多被灰泥或生物碎屑充填。生物体腔孔常由方解石胶结物、基质或沥青所充填(图 2-b)。基质微孔隙主要分布在以灰泥沉积为主的障积岩中,如晶间孔。在扫描电镜下为规则的多

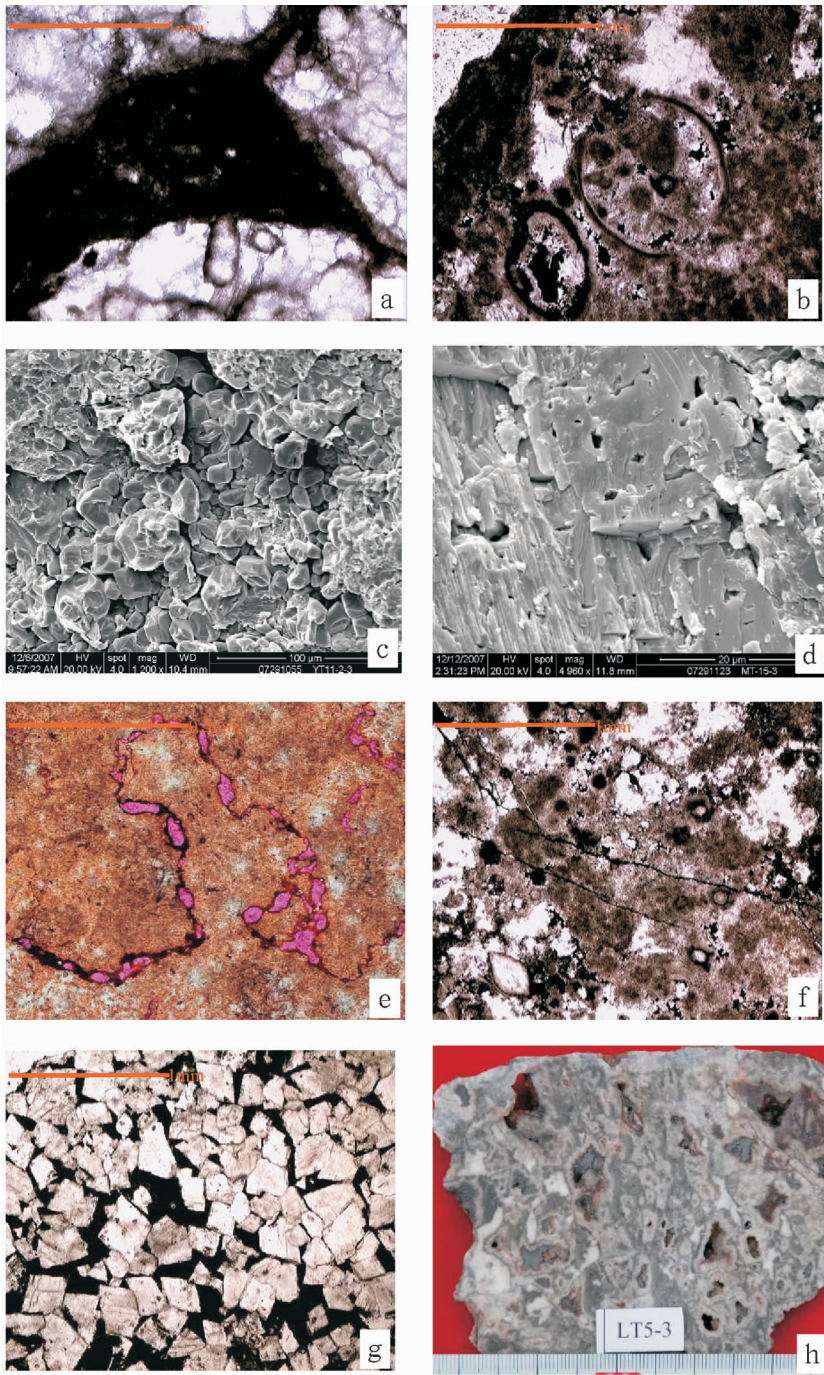


图 2 桂中坳陷泥盆纪部分样品显微照片

a—双孔层孔虫粒间孔,沥青充填,上泥盆统桂林组,2602 m,桂中 1 井,单偏光; b—生物体腔内溶孔,上泥盆统桂林组,2602 m,桂中 1 井,单偏光; c—局部方解石具重结晶,发育晶间孔,上泥盆统民塘组,阳朔杨堤付合,SEM; d—部分重结晶矿物具溶蚀,形成晶内孔,上泥盆统民塘组,横县六景,SEM; e—缝合线受溶蚀形成串珠状溶孔,中泥盆统东岗岭组,南丹六寨,单偏光; f—构造裂缝内充填沥青,上泥盆统桂林组,2631 m,桂中 1 井,单偏光; g—沥青分布于白云石晶间孔内,下泥盆统四排组,4460 m,桂中 1 井,单偏光; h—部分溶孔被铁质充填,中泥盆统唐家湾组,南宁黎塘

Fig.2 Some diagenesis photos of Guizhong depression

a—Amphipora intergranular pore, filled with asphalt, Upper Devonian Guilin Formation, 2602 m, Guizhong 1 drill hole, plainlight; b—Biosphere dorsal foramen, Upper Devonian Guilin Formation, 2602 m, Guizhong 1 drill hole, plainlight; c. Calcite recrystallization, intercrystal pores developed, Upper Devonian Mintang Formation, Yangdi Fuhe section, SEM; d—Recrystallized mineral dissolution, forming intracrystal pore, Upper Devonian Mintang Formation, Hengxian Liujing section, SEM; e—Stylolite dissolution, forming stringer dissolved pore, Middle Devonian Dongganglin Formation, Nandan Liuzhai, plainlight; f. Asphalt filling tectoclase, Upper Devonian Guilin Formation, 2631 m, Guizhong 1 drill hole, plainlight; g—Asphalt filling intercrystal pore of dolomite, Lower Devonian Sipai Formation, 4460 m, Guizhong 1 drill hole, plainlight; g. Ferruginous matter filling dissolved pore, Middle Devonian Tangjiawan Formation, Nanning Litang

面体形,镜下面孔率在 1%~25%(图 2-c),常与收缩裂缝伴生,孔隙连通性一般较好。粒内溶孔主要发育在亮晶颗粒灰岩及亮晶砾、砂屑灰岩中,为选择性溶解颗粒、砂屑、砾屑而形成的孔隙,直径较小(一般为 10~50 μm),连通性差(图 2-d)。在中上泥盆统礁灰岩储层中,由于较强的压溶作用,一般可沿裂缝或缝合线溶蚀扩大形成串珠状的溶孔(图 2-e)。有的溶蚀孔洞充填程度低,不仅晶体间胶结物被完全溶蚀,部分白云石(方解石)晶体也遭受溶蚀,形成较大孔隙。此外,未充填或充填不完全的构造裂缝起连接其他孔隙的“吼道”作用(图 2-f),是重要的孔隙类型之一。

## 2.2 储层物性特征

### 2.2.1 孔隙结构

储层的孔隙大小、分布及几何形态、孔隙与喉道的相互搭配关系决定储层的储渗性能,主要是通过孔喉分选性、孔喉分布的偏度以及平均孔喉半径等来反映<sup>[20]</sup>。有利礁灰岩孔隙结构较好,有较宽缓的孔

隙平台,细、中等歪度,门槛压力值变化较大,约 60% 的样品门槛压力值小于 1 MPa,40% 的样品门槛压力约 3 MPa,进汞饱和度较高(大于 65%),最大孔喉半径达 2.6141 μm(图 3-a)。有利白云岩储层岩性主要为中晶、中-细白云岩,多呈自形-半自形晶体,一般具相对平缓的孔隙平台,歪度值中等,门槛压力较低,孔最大进汞饱和度较高(大于 60%),孔喉半径在 0.2530 μm 左右(图 3-b)。

### 2.2.2 物性特征

88 个地表样品物性资料测试表明(表 1,剖面点位置见图 1),白云岩晶间孔类型储层物性最好。其孔隙度分布在 0.35%~9.65%,平均孔隙度为 1.824%;渗透率介于  $0.0043 \times 10^{-3} \sim 4.882 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ,平均渗透率为  $0.1561 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。综合统计分析表明,中下泥盆统白云岩储层孔渗最为发育,而中泥盆统生物(礁)灰岩储层孔渗相对较好(表 1,图 4),以白云岩晶间孔渗为最佳。样品渗透率大小明显受裂缝控制,裂缝发育的样品渗透率一般大于  $0.2 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ,无

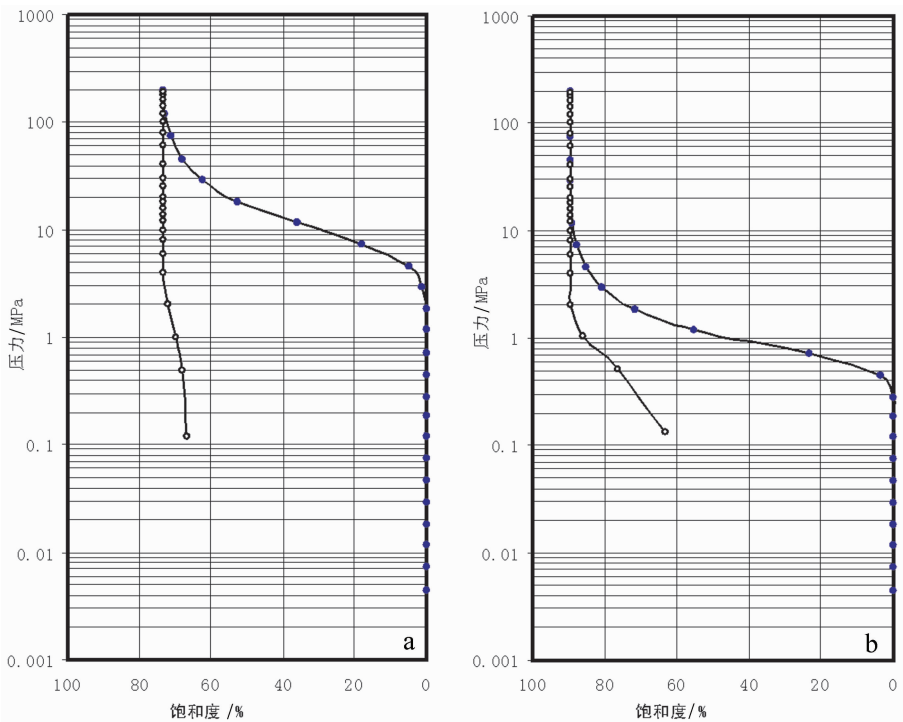


图 3 桂中坳陷中泥盆统有利储层孔隙压汞曲线分析图

a—杨堤付合, YT14-2, D<sub>2</sub>, 微晶生屑砂屑含云质灰岩, I 类孔隙毛管压力曲线特征图; b—阳朔龙脊山, YS5-1, D<sub>2</sub>, 中晶白云岩, I 类孔隙毛管压力曲线特征图

Fig.3 Analyses of mercury penetration of high quality middle Devonian reservoirs in Guizhong depression a—Yangdi Fuhe, YT14-2, D<sub>2</sub>, Microcrystalline biogenic arenic dolomitic limestone, the feature of mercury penetration of I type pore; b—Yangshuo Longjishan, YS5-1, D<sub>2</sub>, Medium-crystalline dolomite, the feature of mercury penetration of I type pore

表 1 桂中坳陷泥盆纪含礁层系孔隙度与渗透率分布

Table 1 Distribution of porosity and permeability of limestone reservoirs in Guizhong depression

采样地点	样品数 /个	层位	岩性	相类型	孔隙度/%		渗透率/ $10^{-3}\mu\text{m}^2$	
					范围	平均值	范围	平均值
杨堤付合	3	D <sub>3</sub>	生物(礁)灰岩	台地边缘	0.53~1.06	0.7566	0.00836~4.882	1.6353
六寨龙里	8	D <sub>3</sub>	灰岩、礁灰岩	开阔台地	0.35~9.65	2.622	0.016~2.007	0.3012
	7	D <sub>2d</sub>	灰岩、生屑灰岩	台地-陆棚	0.612~4.52	2.091	0.0214~0.054	0.0308
横县六景	4	D <sub>2m</sub>	生物灰岩	礁前斜坡	0.69~2.66	1.9825	0.01~0.027	0.0204
阳朔龙脊山	5	D <sub>2f</sub>	礁灰岩、灰岩	台地	1.24~3.7	1.87	0.0043~0.231	0.0766
	2	D <sub>2f</sub>	白云岩	局限台地	3.44~3.68	3.65	0.16~0.22	0.19
宾阳县黎塘	30	D <sub>2f</sub>	灰岩、生屑灰岩	开阔台地	0.5~6.28	1.559	0.012~0.32	0.0405
	10	D <sub>2f</sub>	灰质白云岩	局限台地	0.5~2.28	1.554	0.16~0.78	0.136
横县六景	10	D <sub>1-2lj</sub>	白云岩、灰质白云岩	台地边缘	0.72~3.45	2.603	0.0252~0.967	0.2946
象州县大乐	5	D <sub>1s</sub>	灰岩、生屑灰岩	台地	0.46~2.73	1.092	0.014~0.021	0.0168
	4	D <sub>1s</sub>	白云岩	局限台地	0.9~1.41	1.17	0.014~0.022	0.046
合计	88				0.35~9.65	1.824	0.0043~4.882	0.1561

注: D<sub>2d</sub>: 东岗岭组; D<sub>2m</sub>: 民塘组; D<sub>2f</sub>: 唐家湾组; D<sub>1-2lj</sub>: 那叫组; D<sub>1s</sub>: 四排组。

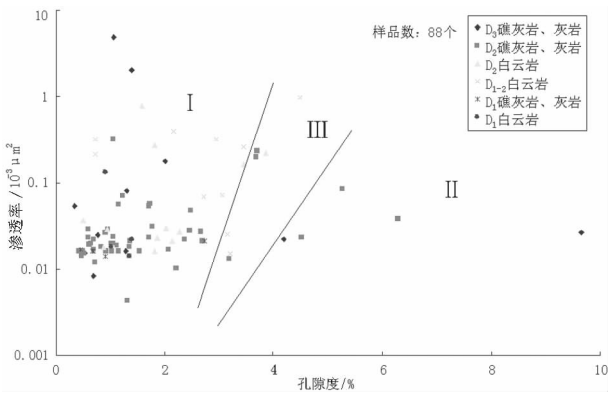


图 4 桂中坳陷泥盆纪储层孔隙度与渗透率关系图

Fig.4 Relationship between porosity and permeability of Devonian reservoirs in Guizhong depression

裂缝发育时渗透率一般较小。

桂中坳陷泥盆纪储层样品孔隙度与渗透率无明显的相关性,大致可将其分为3个区间(图4)。I区孔隙度低于2.5%,渗透率从 $0.0035 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 到 $4.8821 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。这类储层孔隙度低,但渗透率不随孔隙度变化而变化,可能存在两种类型储层:一类为裂缝型储层,孔隙度低,但渗透率较高,以D<sub>1-2</sub>白云岩和D<sub>3</sub>的礁灰岩储层为代表(图3-e,图4);另一类为致密灰岩,孔隙度、渗透率均较低,以D<sub>1</sub>灰岩和礁灰岩储层为代表(图4)。II区孔隙度大于2.5%,随

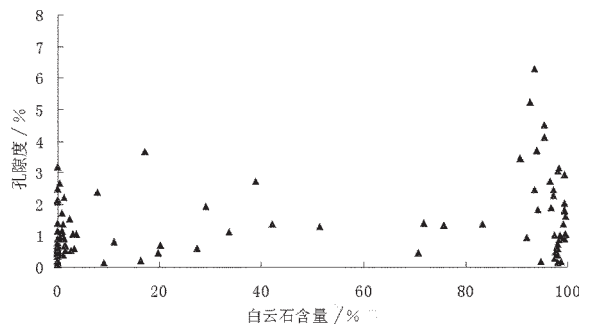


图 5 桂中坳陷泥盆纪储层白云石含量与孔隙度关系图

Fig.5 Relationship between dolomite and porosity of Devonian reservoirs

孔隙度增大,渗透率变化不大,都小于 $0.1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ,属孔隙型储层,连通性较差,以D<sub>2</sub>生物灰岩和灰岩储层为主(图4)。III区储层孔隙度一般大于2.5%,渗透率有随孔隙度增加而增加的趋势,可能为裂缝型储层或裂缝-孔隙型储层,以部分D<sub>2</sub>礁灰岩和灰岩储层为代表(图4)。

桂中坳陷泥盆纪储层物性样品(88个)约86.37%分布在I区,落入II区和III区的样品较少,分别约为5.68%和7.95%。表明该区泥盆纪有利储层主要为裂缝型储层,其次为裂缝-孔隙型储层和孔隙

型储层。

### 3 生物礁储层发育的控制因素

影响生物礁储层发育的因素包括沉积环境、成岩作用和构造作用。成岩作用控制了次生孔隙的发育<sup>[2]</sup>,礁滩体白云岩化作用和溶蚀作用对其储集性能的改变有决定性作用。而多期构造裂缝的发育对于改善礁滩储集体物性具有重大作用。

#### 3.1 沉积相对储层发育的影响

沉积环境控制了岩石结构和岩性,从而控制原生孔隙的发育,并在很大程度上影响溶蚀孔隙的发育。礁滩主要发育在开阔台地相(南丹六寨龙里珊瑚礁等)、台地边缘礁相(南丹六寨堤礁等)与台地边缘斜坡相(横县六景藻礁等)。对不同相类型储层体物性统计分析(表 1),发现台地边缘礁相(那叫组)储集体物性明显好于开阔台地相和台地边缘斜坡相储集体物性。在而台地边缘礁滩相中,礁相储层物性又好于滩相储层,进而说明沉积相对生物礁储层物性的控制作用<sup>[2]</sup>。

#### 3.2 成岩作用对储层的影响

泥盆纪生物礁沉积后,持续的埋藏过程经历各种成岩作用的改造。胶结、压实作用是碳酸盐岩储层减孔的最主要因素;白云化作用是改善储层质量的重要因素,溶蚀作用是形成优质储层的主要原因;而对古生代残留盆地碳酸盐岩储层,构造破裂作用显得尤为重要<sup>[2]</sup>。

##### 3.2.1 白云岩化作用

白云岩化产生的白云岩晶间孔和晶间溶孔是重要的储集空间(图 2-g)。从横县六景中下泥盆统那叫组 10 块白云岩样品看,孔隙度在 0.72%~3.45%,平均为 2.603%;渗透率在  $0.025 \times 10^{-3} \sim 0.967 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ,平均为  $0.2946 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ,均大于总样品的孔隙度、渗透率平均值。与礁有关的储集岩,白云岩渗透率好于灰岩。且统计发现,随碳酸盐岩中方解石含量的减少、白云石含量的增加,孔隙度有增大的趋势(图 5)。孔隙度大于 4% 的样品,其白云石的含量几乎都在 80% 以上。桂中 1 井钻揭示该井见沥青的主力储集层段多为粉晶、细晶和细粉晶白云岩,故白云岩化是该区形成优质储层的一个重要条件。

##### 3.2.2 溶蚀作用

泥盆纪碳酸盐岩储层发育同生期大气淡水溶蚀作用、埋藏溶蚀作用和表生期溶蚀作用。相对海平面

下降至台地边缘及其以下附近时,台地长时间暴露,溶蚀作用强烈,其多为大气淡水风化淋滤的结果。如忻城县大塘上泥盆统灰岩中方解石胶结物碳同位素值与围岩接近,但其氧同位素比围岩的明显偏低(表 2),反映出淡水的影响。

桂中坳陷泥盆纪埃姆斯阶—艾菲尔阶及法门阶三级层序上部白云岩中发育溶蚀孔洞缝带,溶蚀孔洞面孔率可达 30%~40%(图 2-h)。生物礁滩灰岩生物发育,有机质含量较高,随着埋深加大,温度增高,有机质向有机酸转化,地层水中酸性增加,促使礁灰岩中方解石溶蚀,形成次生溶孔。溶蚀作用在裂缝发育地区显得更强烈,不仅晶间孔溶孔、溶蚀孔洞发育,裂缝也会被溶蚀扩大,形成优质储层(图 2-e),该区溶蚀作用以埋藏溶蚀为主。

#### 3.3 构造裂缝

桂中坳陷泥盆纪储层孔隙度都相对较低,多期构造裂缝的发育为改善储集体物性具有重大的意义。在多期裂缝发育的礁灰岩两侧,往往存在溶蚀作用和白云岩化作用,形成的孔-洞-缝体系,对渗透率贡献巨大。图 4 中落在 I 区的滩储层物性样品的孔隙度虽然较小(小于 2.5%),但某些样品发育裂缝(图 2-f),普遍具较高的渗透率。

## 4 油气充注及孔隙演化

桂中 1 井钻遇泥盆系沥青层段累计 709 m,揭示桂中 1 井区在地质历史时期有过大规模油气聚集

表 2 广西忻城县大塘上泥盆统灰岩溶孔胶结物碳氧同位素测试数据

Table 2 Analytical data for carbon-oxygen isotopes of limestone reservoirs in Datang of Guangxi

矿物组份	层位	采样地点	$\delta\text{C}^{13}\text{‰}(\text{PDB})$	$\delta\text{O}^{18}\text{‰}(\text{PDB})$
藻腐孔中的 方解石胶结物	D <sub>3</sub>	大塘	2.20	-8.37
	D <sub>3</sub>	大塘	2.41	-8.18
	D <sub>3</sub>	大塘	1.82	-10.91
	D <sub>3</sub>	大塘	2.50	-8.52
	D <sub>3</sub>	大塘	2.30	-8.40
藻腐孔周围的围岩	D <sub>3</sub>	大塘	1.95	-10.47
	D <sub>3</sub>	大塘	2.22	-6.30
	D <sub>3</sub>	大塘	2.33	-6.17
	D <sub>3</sub>	大塘	2.32	-6.23
	D <sub>3</sub>	大塘	1.91	-5.65

成藏,现今主要以古油藏(沥青)形式存在。与此同时,储层孔隙经历复杂的演化历史和油气充注史。

根据桂中坳陷构造活动期次,沉积埋藏史,成岩作用类型、特征及其序列,建立了桂中坳陷泥盆纪生储层成岩及孔隙演化模式。与成岩序列相对应,孔隙演化主要经历了三大阶段:原生孔隙形成-首次缩减期(早期成岩阶段)、埋藏溶蚀-构造裂缝-充填期(中-深埋藏阶段)和抬升淋滤-构造裂缝-充填期(后生成岩阶段)(图6)。

#### 4.1 储层孔隙沥青分布产状

中泥盆统罗富组干酪根碳同位素组成为 $-24\%$ ~ $-27.4\%$ ,下泥盆统塘丁组干酪根碳同位素组成为 $-26.8\%$ ~ $-27.8\%$ ,与桂中1井泥盆系储层沥青碳同位素组成 $-23\%$ ~ $-27.5\%$ 基本一致。且南丹古油藏固体沥青碳同位素组成范围在 $-25.9\%$ ~ $-28.1\%$ <sup>[23]</sup>,表明桂中1井储层沥青及泥盆系露头沥青主要来源于中下泥盆统泥岩。油气成藏后或运移、散失过程中发生深埋热裂解逐渐演变而成储层焦沥青<sup>[23]</sup>。桂中坳陷泥盆纪生物礁灰岩储层沥青产状较复杂,分布于岩石微缝、岩石压溶缝、粗大生物屑间、生物体腔内、岩石基质溶孔内(图2-a、2-f)。白云岩储层沥青产状较为单一,主要赋存于晶间孔、晶间溶孔内(图2-g)。

#### 4.2 油气充注与孔隙演化史

通过对桂中1井储层沥青油气地球化学解剖<sup>①</sup>和埋藏史分析(图6),区内原油充注可能主要表现为两期:

第一期是储层沥青所对应的印支期前的生烃与成藏过程;下泥盆统于早石炭世开始进入生油高峰。进油期主要对应早成岩阶段,晶间孔、晶间溶孔和粒内溶孔等发育。此时礁灰岩和白云岩储层此时孔隙可能高达15%左右(图6),油气充注其中而形成油藏;中-晚石炭世,烃源岩进入生气高峰期。晚石炭至早二叠世,生成的油气开始裂解,矿物结合的有机质开始大量生烃。而液态烃裂解,产生有机酸、 $\text{CO}_2$ 等酸性流体对早期次生孔隙中形成的亮晶方解石及胶结物、晶粒白云岩产生较大规模的埋藏溶蚀作用,形成较多的溶孔、溶洞;二叠纪到早三叠世为裂解高峰期,油气藏基本完全裂解而形成储层沥青和甲烷天然气。此阶段对应中-深埋藏阶段,溶蚀孔洞、白

云岩化的晶间孔及海西期构造裂缝被沥青和方解石充填,孔隙度逐步降低。

在第一期主力生烃期之后,还可能发生了一次烃类的充注过程,以桂中1井(3752~3753 m)中泥盆统应堂组上部油显示层为代表。桂中1井可溶烃类的后期高成熟阶段的烃类充注,可能来自区内已生成油气的二次裂解过程,该过程可能发生在燕山运动之后,地层持续抬升而避免了 $180^\circ\text{C}$ 以上热作用所导致的裂解过程。印支-喜山期地层持续抬升,在一定深度范围内,形成大小不一的各种溶蚀缝、孔、洞系统,非均质性强烈,但大多被后期方解石充填。现今储集空间主要以埋藏溶蚀孔隙及保留下来的残余孔、洞、缝构成。而孔隙得以保存的关键是油气的早期充注。

#### 4.3 古油藏(沥青)改造的启示

桂中1井三史研究表明,古油藏液态烃在埋深大于5000 m,古地温大于 $160^\circ\text{C}$ 的条件下开始裂解,随后储层经历 $200\sim 240^\circ\text{C}$ 的高温,所有形成的原油发生热裂解,转变为焦沥青和甲烷天然气,致使古油藏遭到破坏。因此,该区油气勘探应以原油裂解的天然气藏为主。且该区具有聚气时间早、破坏时间长的特征,裂解气最终定型与否,保存条件是关键<sup>[12]</sup>。桂中坳陷经历印支晚期、燕山期和喜马拉雅期的多期构造活动,近地表形成北西向、南北向展布的断裂,且部分断层已经通天,保存条件遭到破坏。而构造运动形成的微观裂缝系统对裂解气来说也是主要的破坏因素。因此,该区形成大中型天然气藏的可能性不大<sup>[23]</sup>。而桂中1井区西北部礁滩体发育,中下泥盆统泥岩盖层厚度相对较大,断层密度和褶皱强度相对较小,是下一步勘探的主要方向。

## 5 结 论

(1)桂中坳陷泥盆纪储层储集空间以晶间溶孔、晶间孔及非组构控制的溶蚀孔、洞、缝为主。孔隙度均值1.414%,渗透率均值 $0.132\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$ 。有利储层主要为裂缝型储层,其次为裂缝-孔隙型储层和孔隙型储层。台地边缘沉积环境为礁滩有利储层发育的先决因素,白云岩化-大气淡水及埋藏溶蚀作用、构造裂缝对储集空间的发育、连通、保存起到主要的建设作用。

①彭平安,贾望鲁.桂中坳陷油气显示与沥青的成因、成藏研究.中石油杭州地质研究院,2009.

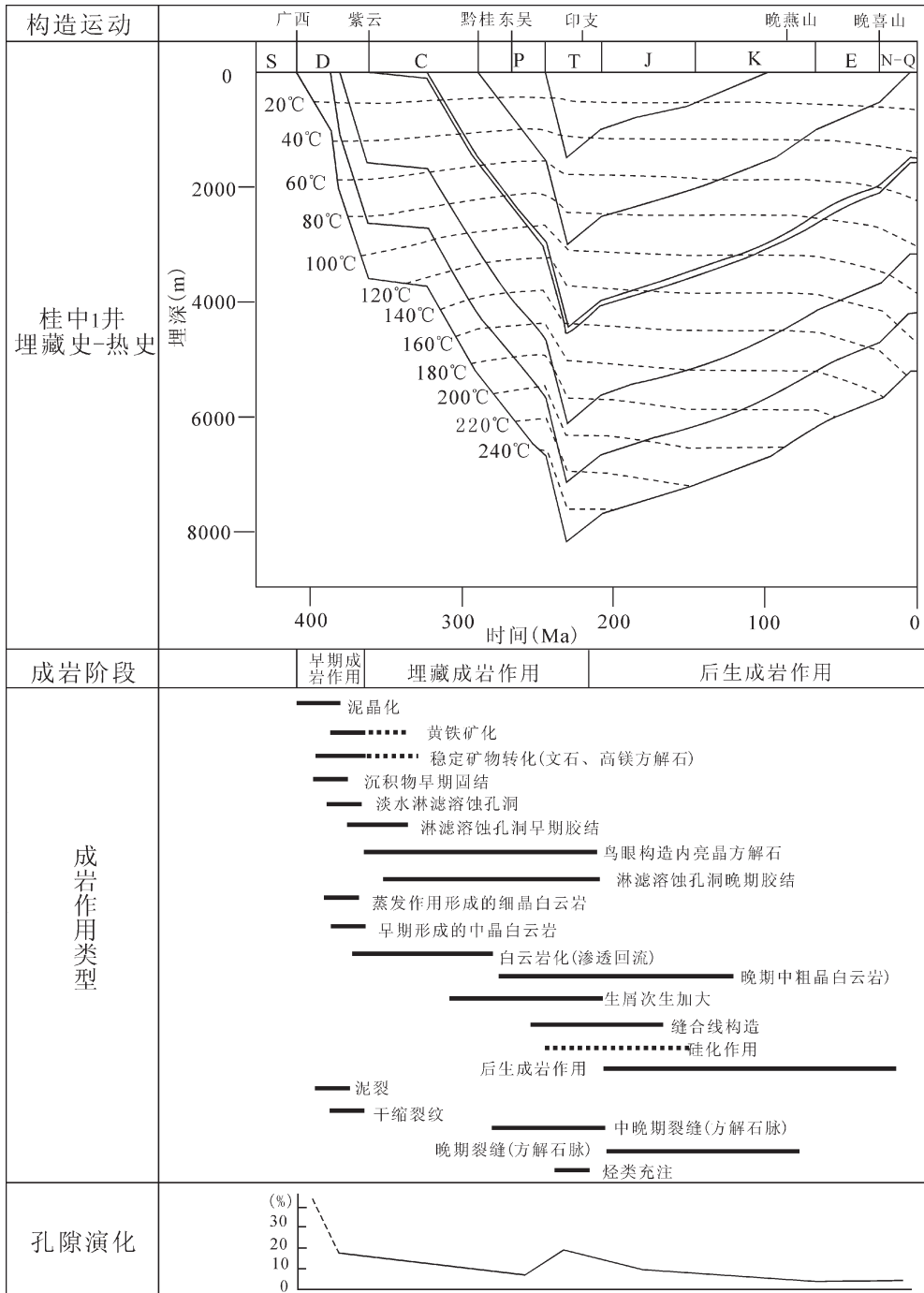


图 6 桂中坳陷泥盆纪储层埋藏史与孔隙演化图

Fig.6 High quality reservoir evolution model of Devonian reef in Guizhong depression

(2)储层孔隙演化与油气充注密切相关,储层可能经历两期油气充注,储层焦沥青的形成(或古油藏破坏)主要是由于地层热沉降造成原油热裂解。储层孔隙的保存可能与油气早期充注有关。

(3)桂中坳陷形成大中型气藏可能性不大。该区

油气勘探以原油裂解天然气为主,应寻找远离晚期构造断裂带,晚期聚集成藏,且具天然气保存条件的岩性体。

致谢:感谢本刊编辑和审稿专家对本文提出的宝贵修改意见。



## 参考文献 (Reference):

- [1] 卫平生, 刘全新, 张景廉, 等. 再论生物礁与大油气田的关系[J]. 石油学报, 2006, 27(2):38-42.  
Wei Pingsheng, Liu Quanxin, Zhang Jinglian, et al. Re-discussion of relationship of reef and giant oil-gas fields[J]. Acta Petrolei Sinica, 2006, 27(2):38-42(in Chinese with English abstract).
- [2] 刘春燕, 林畅松, 吴茂炳, 等. 中国生物礁时空分布特征及其地质意义[J]. 世界地质, 2007, 26(1):44-45.  
Liu Chunyan, Lin Changsong, Wu Maobing, et al. Characteristics of spatiotemporal distributions of reefs in China and their geological significance[J]. Global Geology, 2007, 26(1):44-51(in Chinese with English abstract).
- [3] 陈学时, 耿忠霞. 广西十万大山盆地二叠统生物礁古油藏及隐伏礁预测[J]. 地质学报, 1999, 73 (4) :350-359.  
Chen Xueshi, Geng Zhongxia. Reef Palaeopool and prediction of buried reefs in the Lower Permian series from Shiwandashan basin of Guangxi [J]. Acta Geological Sinica, 1999, 73 (4):350-359(in Chinese with English abstract).
- [4] 沈安江, 陈子焯. 南盘江地区二叠纪生物礁成因类型及潜伏礁预测[J]. 石油勘探与开发, 2001, 28 (3) :29-32.  
Shen Anjiang, Chen Ziliao. Genetic type of Permian reefs and its application to prediction of buried reefs in Nanpanjiang, South China [J]. Petroleum Exploration and Development, 2001, 28 (3): 29-32 (in Chinese with English abstract).
- [5] 王生海, 范嘉松, J.Keith Rigb. 贵州紫云二叠纪生物礁基本特征及其发育规律[J]. 沉积学报, 1996, 14 (2):66-74.  
Wang Shenghai, Fan Jiasong, J. Keith Rigby. The characteristics and development of the Permian reefs in Ziyun County, South Guizhou, China[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1996, 14 (2):66-74 (in Chinese with English abstract).
- [6] 陈丛林, 史晓颖. 右江盆地晚古生代深水相地层沉积构造演化[J]. 中国地质, 2006, 33(2):436-443.  
Chen Conglin, Shi Xiaoying. Sedimentary and tectonic evolution of Late Paleozoic deep-water strata in the Youjiang basin [J]. Geology in China, 2006, 33(2):436-443(in Chinese with English abstract).
- [7] 覃建雄, 曾允孚, 陈洪德, 等. 右江盆地二叠纪生物礁层序地层学研究[J]. 地质科学, 1999, 34(4):506-517.  
Qin Jianxiong, Zeng Yunfu, Cheng Hongde, et al. Sequence stratigraphy of Permian reefs, Youjiang Basin, Southwest China[J]. Scientia Geologic Sinica, 1999, 34 (4):506-517 (in Chinese with English abstract).
- [8] 杨晓宁, 沈安江, 陈子焯, 等. 中国南方二叠纪生物礁油气系统成因类型[J]. 石油学报, 2002, 23 (3):6-10.  
Yang Xiaoning, Shen Anjiang, Chen Ziliao, et al. Genetic types for petroliferous system of organic reefs in the Permian system of South China[J]. Acta Petrolei Sinica, 2002, 23 (3) :6-10(in Chinese with English abstract).
- [9] 陈多福, 陈光谦, 陈先沛, 等. 华南晚古生代礁硅岩套的组成和分类及地质涵义[J]. 地质学报, 1998, 72 (2) :97-102.  
Chen Duofu, Chen Guangqian, Chen Xianpei, et al. Composition and classification of the Late Paleozoic reef-chert suite in South China and its geologic implications[J]. Acta Geological Sinica, 1998, 72(2):97-102 (in Chinese with English abstract).
- [10] 张景廉. 生物礁与油气田、金属矿床的相互关系讨论[J]. 海相油气地质, 2001, 6 (1):53-59.  
Zhang Jinglian. The relationship of the reefs between oil-gas field and metal bed [J]. Marine Origin Petroleum Geology, 2001, 6(1): 53-59 (in Chinese).
- [11] 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):427-435.  
Li Denghua, Tang Yue, Yin Jifeng, et al. Features of organic reefs in the Upper Permian Changxing Formation and prediction of hidden reefs in the Huanglongchang structure, eastern Sichuan [J]. Geology in China, 2006, 33(2):427-435 (in Chinese with English abstract).
- [12] 马永生, 楼章华, 郭彤楼, 等. 中国南方海相地层油气保存条件综合评价技术体系探讨[J]. 地质学报, 2006, 80(3): 406-417.  
Ma Yongsheng, Lou Zhanghua, Guo Tonglou, et al. An exploration on a technological evaluation for marine system of petroleum preservation strata in south China [J]. Acta Geologica Sinica, 2006, 80(3):406-417 (in Chinese with English abstract).
- [13] 张水昌, 朱光有, 梁英波. 四川盆地深部海相优质储集层的形成机理及其分布预测[J]. 石油勘探与开发, 2006, 33(2):161-166.  
Zhang Shuichang, Zhu Guangyou, Lian Yinbo. Formation mechanism and distribution prediction of high-quality marine reservoir in deep Sichuan basin [J]. Petroleum Exploration and Development, 2006, 33 (2):161-166 (in Chinese with English abstract).
- [14] 张廷山, 姜照勇, 陈晓慧. 四川盆地古生代生物礁滩特征及发育控制因素[J]. 中国地质, 2008, 35(5):1017-1030.  
Zhang Tingshan, Jiang Zhaoyong, Chen Xiaohui. Characteristics and controlling factors of development of Paleozoic reef-banks in the Sichuan basin[J]. Geology in China, 2008, 35(5): 1017-1030 (in Chinese with English abstract).
- [15] 冉隆辉, 陈更生, 徐仁芬. 四川盆地罗家寨大型气田的发现和探明[J]. 海相油气地质, 2005, 10(1):43-47.  
Ran Longhui, Chen Gengsheng, Xu Renfeng. Discovery and development of Luojiashai gas field, Sichuan Basin [J]. Marine Origin Petroleum Geology, 2005, 10 (1):43-47 (in Chinese with English abstract).
- [16] 赵宗举, 王招明, 吴兴宁, 等. 塔里木盆地塔中地区奥陶系储层成因类型及分布预测[J]. 石油实验地质, 2007, 29(1):40-46.  
Zhao Zongju, Wang Zhaoming, Wu Xingning, et al. Genetic types and distribution available Carbonate reservoirs in Ordovician in the central area of Tarim basin [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2007, 29(1):40-46(in Chinese with English abstract).
- [17] 吴国干, 姚根顺, 徐政语, 等. 桂中坳陷改造期构造样式及其成因[J]. 海相油气地质, 2009, 14(1):33-40.  
Wu Guogan, Yao Genshun, Xu Zhengyu, et al. Structural patterns

- and origin of tectonic reformation in Guizhong depression [J]. *Marine Origin Petroleum Geology*, 2009, 14 (1):33-40 (in Chinese with English abstract).
- [18] 陈洪德, 侯明才, 刘文均, 等. 海西-印支期中国南方的盆地演化与层序格架 [J]. *成都理工大学学报 (自然科学版)*, 2004, 31(6): 629-635.
- Chen Hongde, Hou Mingcai, Liu Wenjun, et al. Basin evolution and sequence stratigraphic framework of south of China during Hercynian cycle to Indo-Chinese epoch [J]. *Journal of Chendu University of Technology (Science & Technology Edition)*, 2004, 31(6):629-635 (in Chinese with English abstract).
- [19] 侯明才, 陈洪德, 田景春. 晚古生代右江盆地生物礁储层特征研究 [J]. *成都理工大学学报(自然科学版)*, 2005, 32(3):231-238.
- Hou Mingcai, Chen Hongde, Tian Jingchun. Study on reservoir characteristics of the Late Paleozoic reef in Youjiang basin, China [J]. *Journal of Chendu University of Technology (Science & Technology Edition)*, 2005, 32 (3):231-238 (in Chinese with English abstract).
- [20] 张荣虎, 冯庆付, 张惠良, 等. 塔里木盆地群苦恰克地区石炭系生屑灰岩段储层特征及有利储层控制因素 [J]. *地质学报*, 2009, 83(4):590-598.
- Zhang Ronghu, Feng Qingfu, Zhang Huiliang, et al. Characteristics and control factors of carboniferous bioclast limestone member reservoir in the Qunkuqiake area, Tarim Basin [J]. *Acta Geological Sinica*, 2009, 83(4):590-598(in Chinese with English abstract).
- [21] 胡明毅, 朱忠德, 杨威, 等. 湖北宜昌早奥陶世生物礁储层特征及控制因素 [J]. *江汉石油学院学报*, 1998, 20 (4):7-11.
- Hu Mingyi, Zhu Zhongde, Yang Wei, et al. Reservoir characteristics and genesis of Lower Ordovician reefs in Yichang, Hubei Province [J]. *Journal of Jiangnan Petroleum Institute*, 1998, 20(1):7-11 (in Chinese with English abstract).
- [22] 朱如凯, 郭宏莉, 高志勇, 等. 中国海相储层分布特征与形成主控因素 [J]. *科学通报*, 2007, 52(增刊 I):40-45.
- Zhu Rukai, Guo Hongli, Gao Zhiyong, et al. The main control factors of the marine reservoirs distribution and formation, China [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2007, 52:40-45(in Chinese with English abstract).
- [23] 赵孟军, 张水昌, 赵陵, 等. 南盘江盆地古油藏沥青地球化学特征及成因 [J]. *地质学报*, 2006, 80(6):894-901.
- Zhao Mengjun, Zhang Shuichang, Zhao Ling, et al. Oil and gas accumulation and gas exploration potential in the Nanpanjiang Basin, China [J]. *Geological Review*, 2006, 80 (6):894-901 (in Chinese with English abstract).

## Characteristics and evolution of Devonian reef reservoirs in Guizhong (central Guangxi) depression

WANG Peng-wan, YAO Gen-shun, CHEN Zi-liao, LI Xian-jing, XU Zhen-yu ,  
MA Li-qiao, HE Xun-yun, DONG Yong, HUANG Ling

(Hangzhou Institute of Petroleum Geology, PetroChina Exploration and Development Research Institute, Hangzhou 310023, Zhejiang, China)

**Abstract:** Devonian reef is developed in the Guizhong depression, and drilling data of well GZ1 support the opinion that high quality biolithite and dolomite reservoirs do exist in the Guizhong depression. Outcrops, micrographs and scanning electronic microscope analyses show that reservoir space is composed of pores, fissures and solution hollows. The interstices include such types as intragranular corroded hollows, frame pores, inter granular pores, corroded hollows and corroded hollows associated with stylolite, with the intercrystalline pores, intercrystalline corroded hollows and corroded pores as well as hollow fissures controlled by nonfabric materials being the main types. It is suggested that the reservoir types can be classified into fissure type, fissure pore type and pore type. The depositional environment, diagenesis and tectoclast controlled the development of the beneficial reservoir. Nowadays reservoir space is mainly made up of burial emposieus and remaining pores, fissures and solution hollows. A study of diagenesis and geochemistry indicates that the porosity evolution was related to the oil accumulation, and that two stages of processes of oil reservoir formation might have occurred. The solid bitumen (or destruction) of the reservoir was related to thermal evolution of the oil due to the subsidence. It is therefore held that the exploration should be mainly concentrated on the oil-cracked gas, with the attention paid to the study of reservation conditions of the rocks.

**Key words:** Guizhong depression; Devonian; reef; feature of reservoir; porosity evolution; solid bitumen

**About the first author:** WANG Peng-wan, male, born in 1981, master, engineer, mainly engages in the study of petroleum geology; E-mail: wangpw\_hz@petrochina.com.cn.