

文章编号: 1009-3850(2010)03-0076-08

黔南 桂中地区泥盆系层序地层格架中的 储集体特征研究

康建威¹, 林小兵², 田景春², 张 翔²

(1. 成都地质矿产研究所, 四川 成都 610081; 2. 成都理工大学油气藏地质及开发工程国家重点实验室, 四川 成都 610059)

摘要: 通过对黔南拗陷和桂中拗陷的地层对比和分析, 识别出了 8 种层序界面标志, 共划分两个超(二级)层序 SS_1 和 SS_2 并讨论了各体系域特征。在层序格架中对研究区内的储集体类型进行了总结, 主要包括生物礁(滩)储集体、白云岩储集体和缝洞型储集体等 3 种类型。对层序格架中储集体的成因类型进行了总结归纳: 有利的储集体主要有 TST 礁滩灰岩储集体、 HST 礁滩灰岩、白云岩储集体。

关键词: 黔南拗陷; 桂中拗陷; 泥盆系; 层序地层格架; 储集体

中图分类号: E122.2+3 **文献标识码:** A

1 区域地质背景

研究区(黔南拗陷和桂中拗陷, 图 1)及其邻区是滇黔桂油气勘探区的重要组成部分和有利的油气远景区。黔南拗陷位于扬子大陆的南缘, 湘桂地体与扬子大陆边缘碰撞拼贴构造带北侧, 是早古生代克拉通盆地与晚古生代被动大陆边缘陷盆地以及中生代前陆盆地叠加而形成的叠合盆地。拗陷西北以安顺-贵阳断裂带与黔中隆起为界, 东以施洞口断裂带与雪峰隆起为界, 西南以紫云-罗甸断裂带与湘桂地体为界, 整体呈三角形展布。桂中拗陷位于扬子地块江南大陆边缘的南缘, 主体部分位于湘桂地体之上。湘桂地体在加里东早中期碰撞造山拼贴之后, 全区上升隆起遭受剥蚀。华力西期, 由于受古特提斯洋打开的影响, 全区在拉张背景下沉接受沉积, 形成被动大陆边缘拗陷盆地, 即为广义的南盘江-右江盆地, 桂中拗陷便是这一盆地的重要组成部分^[1-3]。

2 地层划分与对比

研究区泥盆系在黔南拗陷发育齐全(表 1), 厚度达 370~4800 m, 东部主要为浅海相, 为浅色岩系富含底栖生物的独山型; 西部为独山型和火烤型(为半深海至深海相, 深色或黑色岩系富含浮游生物)相互交替的混合型^[4-5]。厚度巨大, 沉积中心大致在惠水王佑一带。

桂中地区泥盆系(表 1)明显受基底构造格局及沉积环境的制约, 特别是早泥盆世塘丁期以后, 各类沉积相差异明显^[6]。在拗陷西部地区以滨岸碎屑沉积为主, 夹有少量陆相沉积物, 生物群以广盐度的底栖类、鱼类和植物为主, 代表性剖面有苍梧县石桥、贺县信都洪范(平岭)、合浦县公馆径口等; 在拗陷东部以碳酸盐岩、泥质岩为主, 生物群主要为底栖类, 亦有少数浮游生物, 属碳酸盐岩台地相, 代表性剖面有象州县大乐、武宣县二塘等。

收稿日期: 2010-06-08; 改回日期: 2010-08-10

作者简介: 康建威(1980-), 硕士, 主要从事沉积学研究

资助项目: 中国地质调查局《中国岩相古地理编图》(基[2009]01-12-13)

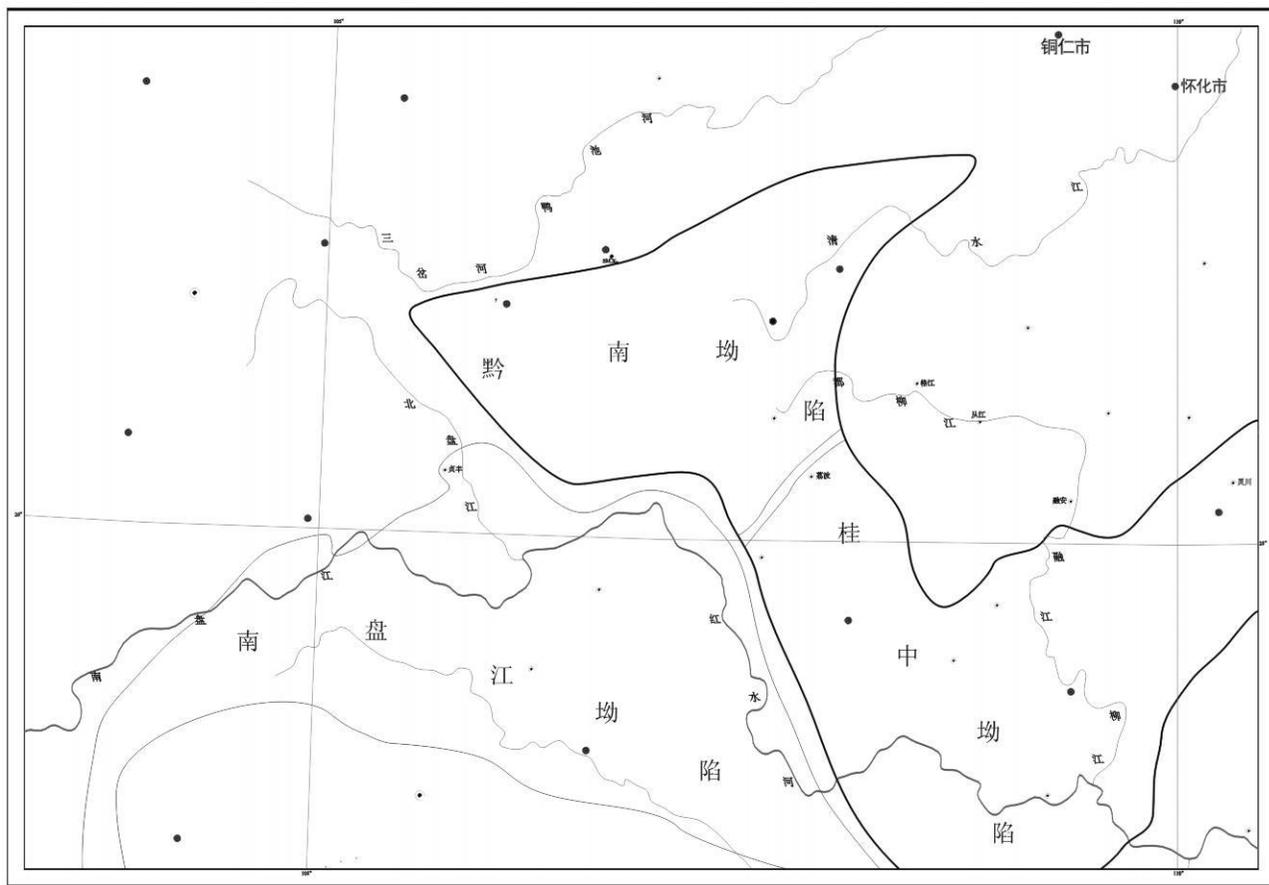


图 1 研究区范围

Fig 1 Location of the South Guizhou depression and Central Guangxi depression

表 1 桂中地区泥盆系地层划分表

Table 1 Stratigraphic division and correlation in Central Guangxi

地层		盆地相	孤台相		台地相		
系	统	组	组		组		
泥盆系	上统	代化	五指山	融县	尧梭	融县	
		响水洞	榴江		望城坡		
	中统	罗富		东岗岭		独山(东岗岭)	
		纳标	高峰街	应堂		大河口	应堂
						龙洞水	
	塘丁	德峨		舒家坪(四排)			
	下统	益兰		郁江	坡脚	丹林	郁江
		那高岭		那高岭		那高岭	
莲花山		莲花山	莲花山				
寒武系		三都		娄山关			

3 层序界面类型及识别

层序是被不整合面或可以与之对比的整合面所限定的、内部相对整合、在成因上有联系的等时地质体,故层序地层学研究的关键的是层序界面的识别、

鉴定、追索和对比,这些界面主要包括层序底界面、初始海泛面,最大海泛面及其伴生的凝缩段^[7-10],它们是层序划分的基础和前提。

3.1 古风化壳

古风化壳是地球历史时期地壳表层岩石经长期风化作用后所形成的分布于地壳表层的残积物,它的存在表明了地质历史时期地壳上升、海平面下降、原岩暴露于水面之上而遭受的风化剥蚀,所以古风化壳面是一类典型的层序界面。

3.2 古喀斯特作用面

是指地质历史时期发育的,并被后来沉积物所覆盖的(含CO₂的地下水和地表水对可溶性碳酸盐岩地溶解、淋滤、侵蚀和沉积等)古岩溶作用所形成的作用面。此类型界面的形成过程中,位于水体之下沉积的碳酸盐岩在构造抬升或海平面下降条件下暴露地表、遭受风化、剥蚀,从而形成古喀斯特作用面。此类界面在研究区常表现为溶蚀孔洞缝中充填铁泥质红色氧化壳及发育铁质结核等。如阳朔县葡萄乡坳村剖面上溶蚀角砾岩以及栉壳状方解石胶结结构非常发育(图2)。

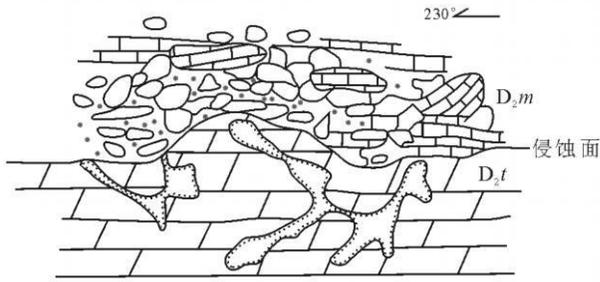


图2 阳朔葡萄乡 垌村剖面民塘组与塘家湾组岩溶不整合面
 Fig 2 Palaeokarst unconformity between the Mintang Formation and Tangjiawan Formation in the Tongcun section, Yangshuo

3.3 斜坡重力流冲刷侵蚀面

主要表现为一套台地边缘垮塌沉积或斜坡侵蚀作用所形成的不规则界面及其之上的低水位期的角砾状灰岩。这类界面是在海平面下降速率大于盆地沉降速率条件下所形成的典型层序界面,如阳朔县思和垌剖面(图3)等。

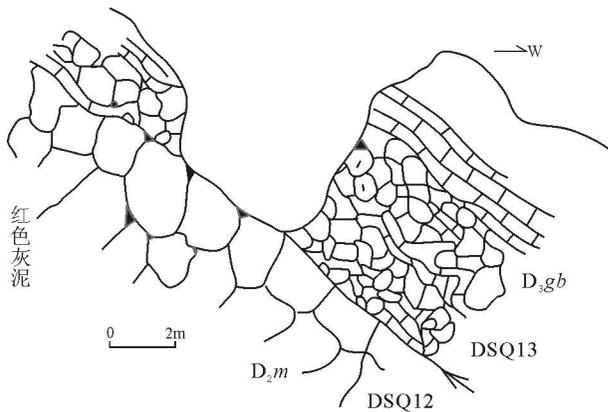


图3 阳朔县思和垌剖面斜坡沉积
 Fig 3 Slope deposits in the Sihong section in Yangshuo

3.4 岩性、岩相转换面

此类界面在研究区广泛发育,它是在海平面下降速率小于盆地沉降速率条件下形成的,其主要表象为陆上暴露而无河流回春现象发生,台地上和台地边缘可能会经历短暂的暴露,斜坡侵蚀作用不明显,盆地内不发育低水位扇形体。

3.5 上超面

上超面是指后期沉积层与前期沉积层之间为上超接触关系,是由于海平面下降后又上升这一转变过程的产物。所以上超面也为一层序界面。此类型的界面在研究区也较为发育,如阳朔城北凉水井剖面民塘组上超于塘家湾组之上(图4)。

3.6 最大海泛面

最大海泛面是划分一个层序内海侵体系域与高水位体系域之间的界面,反映最大海泛期的产物也

称为凝缩层或凝缩段。此类沉积在研究区广泛发育,主要表现为薄层硅质岩沉积或黑色页岩沉积、薄板状泥灰岩沉积、生物化石密集层。

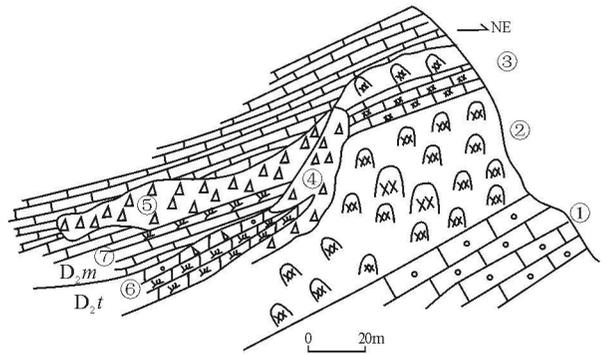


图4 阳朔城北凉水井剖面:民塘组上超于塘家湾组之上

① 生物屑灰岩;② 骨架礁灰岩;③ 藻灰岩;④ 礁前塌积岩;⑤ 礁屑角砾岩;⑥ 藻纹层白云岩、角砾白云岩;⑦ 薄层灰岩

Fig 4 Overlap of the Mintang Formation upon the Tangjiawan Formation in the Langshuijing section in Yangshuo

① = bioclastic limestone ② = reef limestone ③ = algal limestone ④ = reef front talus ⑤ = reef breccias ⑥ = algal laminated dolostone and brecciated dolostone ⑦ = thin-bedded limestone

3.7 地震波反射突变面

由于层序地层学是在地震地层学基础上发展起来的。因此,地震勘探中获得的反射波资料是地层的地震响应,同一反射界面的反射波有相同或相似的特征。如反射波振幅、波形、频率、反射波波组的相位个数等等。根据这些特征,沿横向对比追踪同一反射界面的反射,也就实现了同一地质界面的对比,也就实现了层序划分(图5)。地震反射的地层之间的接触关系有上超、下超、顶超等,它们均反映了层序界面的特征及体系域的演化特点。

4 研究区二级层序划分

层序界面的级别取决于层序的级别,而层序是构造活动、全球海平面变化以及沉积作用的地层记录,它表现为不同事件跨度及空间分布范围的旋回特征。我们所研究的二级层序通常是因洋中脊扩张引起的大洋体积的变化造成海平面的升降所致,其时间跨度一般为(10~100)×(3~5)Ma,以露头层序地层研究为主,在深入研究区内泥盆系若干剖面的基础上,重点结合关键性界面以及层序划分的各种标志,对研究区泥盆系进行了如下的层序划分^[7-9](表2),共划分两个超(二级)层序:

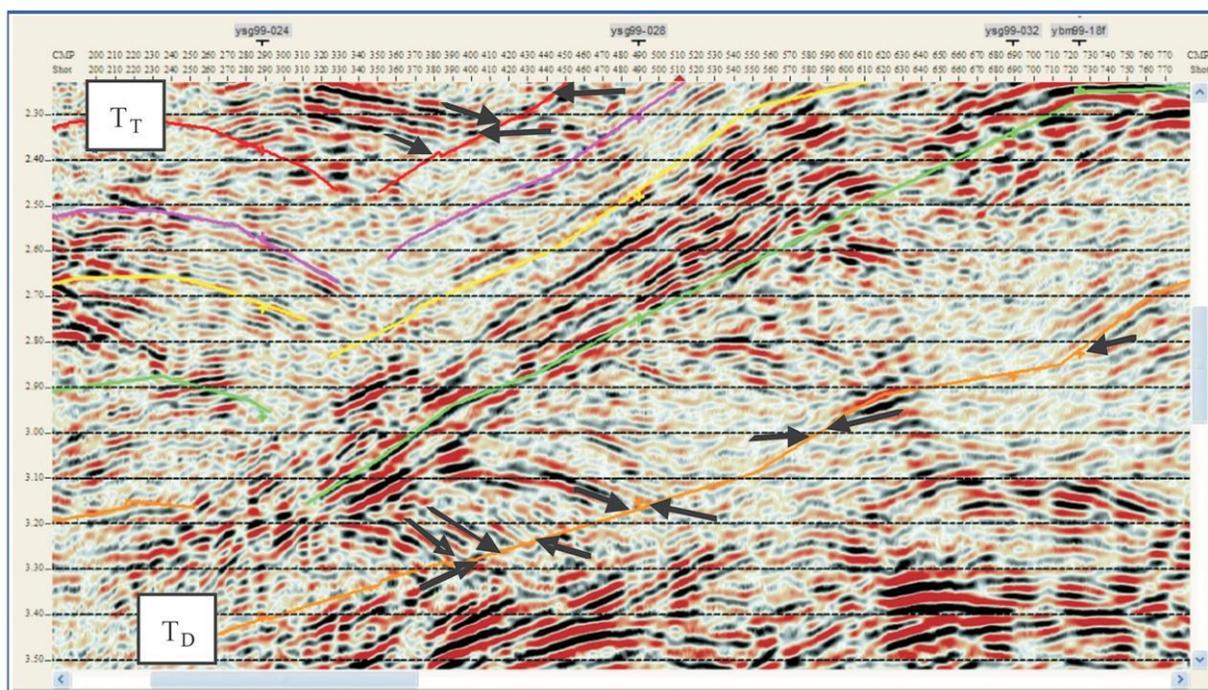


图 5 地震剖面中的二级层序界面 D—C界限

Fig 5 Second-order sequence boundary at the Devonian-Carboniferous boundary in the seismic profile

4.1 SS₁超层序

SS₁二级层序由 10个三级层序组成,代表的时间为早泥盆世至中泥盆世早期,岩石底层单位由下而上为莲花山组、那高岭组、郁江组、四排组和应堂组。该层序的底界面主要表现为区域性不整合,泥盆系不整合于加里东构造运动界面之上。

1. LST期沉积

该二级层序的低水位体系域的时间为 13Ma,其岩石地层单元在广西为莲花山组或北均塘组,在云南为坡松冲组或翠峰上组的下西山村段和百屯段。在贵州缺失,总体上为一套河流相、滨岸相、海陆交互相和浅海相沉积。岩性主要为砾岩、砂岩、粉砂岩和泥岩。

2. TSI期沉积

该套沉积与下伏的 LST之间表现为海侵上超面,海侵体系域由那高岭组和部分郁江组的底层组成,包括两个半三级层序(DSQ₄、DSQ₅和DSQ₆的TSI),主要为陆棚相的粉砂质泥岩和泥岩,反映最大海泛期的凝缩层主要为陆棚相的粉砂质泥岩沉积。

3. HST期沉积

由部分郁江组、四排组和应堂组及其相当的底层所构成。在不同地区具有不同的沉积特征,其岩性和岩相变化较大。在广西南丹剖面,该体系域主要由斜坡—盆地相的粉沙质泥岩、浊积岩夹泥岩构

成,反映出海平面下降的特征。

4.2 SS₂超层序

该二级层序可分为海侵体系域和高水位体系域,虽然其沉积环境和岩性特点在单个剖面上变化不大,但从整个区域上看,海侵范围较第 1超层序时期内往北扩展。

1. TSI期沉积

海侵体系域由东岗组和部分余田桥组的底层所构成,总体上表现为向上变深的沉积相序。该体系域形成时期,由于同沉积断裂活动造成台盆相间的沉积格局,沉积分异明显,在台缘发育分布广泛的生物礁,在台盆边缘形成了大量重力流成因的碳酸盐角砾岩,该期的凝缩段主要为台盆相的薄层硅质岩和生物化石层构成。

2. HST期沉积

高水位体系域反映出向上变浅的相序,此期海域范围缩小,早期的台盆和台棚迅速变浅,由潮坪—泻湖相、三角洲或陆棚沉积所代替。

5 层序地层格架中储集体的类型

5.1 礁(滩)相灰岩储集体

泥盆纪是研究区重要的成礁期,生物礁、滩相发育较为普遍^[10-11]。集体成礁主要是在中泥盆统二级层序 SS₂的 TSI(尤其是塘家湾组)。在研究区内生物礁滩广泛发育。

表 2 层序划分方案

Table 2 Sequence stratigraphic division in the study area

系统	阶	界限年龄 /Ma	时间跨度 /Ma	二级层序	体系域	
泥盆系	上统	邵东	355	4.0	SS2	HST
		锡矿山	359	6.0		mfs
		余田桥	365	10.0		TST
	中统	东岗岭	375	5.0		HST
		应堂	380	5.0		mfs
	下统	四排	385	2.0		SS1
		郁江	387	2.0		
		那高岭	389	6.0		
		莲花山	395	13.0	LST	

早泥盆世中、晚期,区内已出现碳酸盐沉积,造礁生物开始发育(第一个成礁期),以蜂巢珊瑚、群体四射珊瑚及层孔虫为主。分布较为广泛。中泥盆世早期,是本区第二个成礁期,但在区域上分布少,

大厂龙头山、普安罐子窑生物礁属于这一时期的产物。中泥盆世中期(局部延伸到晚泥盆世早期),是第三个成礁期,也是本区造礁极盛期,造礁生物以珊瑚、层孔虫为主,附礁生物门类繁多,生物礁分布广。晚泥盆世早期成礁带主要向 NE方向迁移,集中粤北或湘粤交界处,另外在局限台地内也有点礁分布。总体来看,随着海侵逐渐由南向北推进,生物礁也逐渐由南向北扩展,其时代逐渐由早泥盆世晚期到晚泥盆世早期,生物礁主要发育在同沉积构造活动带的上升盘,并沿台地边缘呈叠置丘礁发育。

5.2 白云岩储集体

研究区不同层位白云岩发育的规模有明显的差异,宏观上的产出的形态有层状、斑块状、透镜状、角砾状、裂缝状等,微观上白云石主要呈自形一半自形密集状、自形散状、半自形一它形不规则状、自形一半自形缝合线状、它形生物腔充填状等(表 3)。

表 3 白云岩储集体发育相带

Table 3 Facies belts of the dolostone reservoirs

剖面名称	白云岩产状	沉积相	层位
东兰县弄占乡弄占剖面	纹层状—中厚状细晶白云岩	局限台地	东村组
广西隆林德峨剖面	沿构造流缝分布的白云岩	台盆	融县组
	中厚层状微晶白云岩	台盆	东三组 应塘组
望谟桑朗剖面	夹于钙质泥岩中的薄层结晶白云岩	台盆	罗富组
隆林含山剖面	中厚层微晶含泥白云岩	孤立台地	先力组
	角砾状白云岩	台缘	六湾组
	中厚层微晶灰质白云岩	孤立台地	

可以看出,白云岩在台地—台地边缘—盆地环境均有产出,正是由于沉积环境的差异,也导致白云岩有厚层块状(台地)、中厚层状(台缘)、角砾状、薄层或夹层状(台盆)等多种多种产状。

从礁云岩与礁灰岩的对比中,也可以看出白云石化对储层的建设性作用。根据礁云岩和礁灰岩渗

透率的对比统计(表 4)可知:同是与礁有关的储集岩,白云岩的渗透率好于灰岩。在所采集生物礁储层样品中,可在镜下观察到在其孔隙和裂缝壁上至今还残留有有机质的薄膜,说明该储层曾经聚集过油气。

表 4 礁云岩与礁灰岩渗透率对比统计表(据林小兵, 2007)

Table 4 Comparative statistics of the permeability of the reef dolostone and reef limestone (after Lin Xiaobing, 2007)

岩类	总样品数	渗透率均值	< 0.01 × 10 ⁻³ μm ²		特殊样 (> 10 × 10 ⁻³ μm ²)			
		10 ⁻³ μm ²	样品数	占总样%	总样	样品数	占总样%	占特殊样%
白云岩	243	1.08	115	47.33	60	50	17.1	83.3
灰岩	272	0.39	201	73.89		10	3.5	16.7

从生储盖组合来看,由于研究整体沉积背景和格局为台、盆相间的格局,孤立台地处于具有较强生油能力的台盆之中,因而斜坡白云岩更具优先接受

运移来的油气条件,而台地边缘生物礁中的白云岩由于本身地貌隆起即可构成岩性圈闭,故礁体中的白云岩有利于油气的储集、保存,而深水中的白云岩

由于本身储集性相对较差,再加之厚度薄,尽管其本身生、储、盖匹配良好,但其实际意义相对较差。

6 层序地层格架中的储集体成因类型

研究区泥盆纪地层油气储集体类型丰富、分布广泛。按成因可将研究区内储集体归纳为三种成因类型:①与低水位体系域相关的储层;②与海侵体系域有关的储层;③与高水位体系域相关的储层。

6.1 与 LST期有关的储集体

与 LST有关的储集体,主要为台盆或盆地层序格架中的储集体,即深水型储集体,是研究区典型的

钙屑浊积岩,分布时代跨度大,不具有研究的现实意义。

6.2 与 TST期有关的储集体

勘探实践业已证明,华南地区如四川盆地、建南气田、江汉盆地及目前川东、鄂西一些气田的重要储层均与海侵体系域有关。就研究区而言, D_1^3 、 D_2 — D_3^1 等层位二级层序的丘礁滩颗粒碳酸盐岩、礁灰岩均属海侵型储集体(表 5)。对于三级层序格架,几乎每一层序的 TST格架中均分布有相应的储集体(图 7)。

表 5 与海侵体系域相关的储集体成因类型及分布

Table 5 Genetic types and distribution of the reservoir rocks associated with the transgressive systems tract

大类	成因类型	孔隙度 /%	渗透率 / $\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$	时代	地区
碳酸岩 岩型	海侵型礁体	2~10 ^②	0.1~0.23 ^②	D_1^3 、 D_2	研究区普遍发育 桂中地区
	滩组合灰岩 礁滩组合云岩	1~5 ^①		D_1^3 、 D_2 、 D_3 D_1^3 - D_3	

(①根据侯方浩(1984);②据广西石油指挥部(1978))

与 TST相关的又一重要储集体是海侵礁及相关的丘礁滩灰岩,就二级层序框架而言,主要分布于 D_1^3 、 D_2 — D_3^1 礁主要分布于研究区的隆林含山、横县六景等地区; D_2 早期海侵礁仅见于普安罐子窑等地区; D_2^2 — D_3^1 海侵礁分布广泛,自南向北分成多个成礁带:盘溪—罐子窑成礁带、南丹—王佑成礁带、城步—桂林成礁带等。不同时期空隙度、渗透率、面孔率见表 6。

6.3 与 HST期有关的储集体平面分布特征

与 HST相关的储集体类型丰富,分布广泛,规模大(表 7),物性佳,储集意义最为重大。高水位期灰岩储层包括礁灰岩、滩灰岩、颗粒灰岩,与 HST期白云岩储层的时空分布相近,常与海侵期灰岩储层及高水位期储层共生。另据前期油气勘探成果,四川盆地许多油气藏均与隐伏礁灰岩、滩灰岩有关,而研究区中的碳酸盐孤台岩性油气圈闭主要与高水位期相关。

表 7 与高位体系域或相关的储集体成因类型及分布

Table 7 Genetic types and distribution of the reservoir rocks associated with the highstand systems tract

大类	成因类型	孔隙度 /%	渗透率 / $\times 10^{-9}\mu\text{m}^2$	层位	分布
碳酸盐 岩型	礁云岩	5~15	0.1~1.24	D_1 - D_2^1	多有分布
	颗粒云岩	3~7.9	1.12~12.13	D_3	
	丘礁灰岩 颗粒灰岩 生屑灰岩	2~10 0.2~2.54		D_1 - D_1^2 、 D_2 、 D	黔南、桂中均广泛发育

[孔隙资料据广西石油指挥部(1978)和侯方浩等(1984)]

表 6 研究区主要储集岩物性(据石油指挥部资料(1987)综合补充)

Table 6 Physical properties of the reservoir rocks in the study area

储集岩类型	成因类型	孔隙度 /%	渗透率 / $\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$	面孔率 /%
礁灰岩	TST海侵礁	2.47~4.1	0.01~1.0	30
颗粒灰岩	TST海侵礁	2.0~2.5	0.2~2.3	10
礁云岩	HST海退礁	2.37~3.5	0.07~1.7	40
颗粒云岩	HST海退滩	1.23~3.0	0.7~2.3	25

就二级层序框架而言,与 HST相关的储集层(二级储层)主要有 D_3 白云岩储层(孤台及台缘),其次是 D_1 — D_2^1 白云岩储层,这些储层分布广泛,成层稳定,几乎在台地背景的剖面上均能可见,为有利储集带(图 8)。

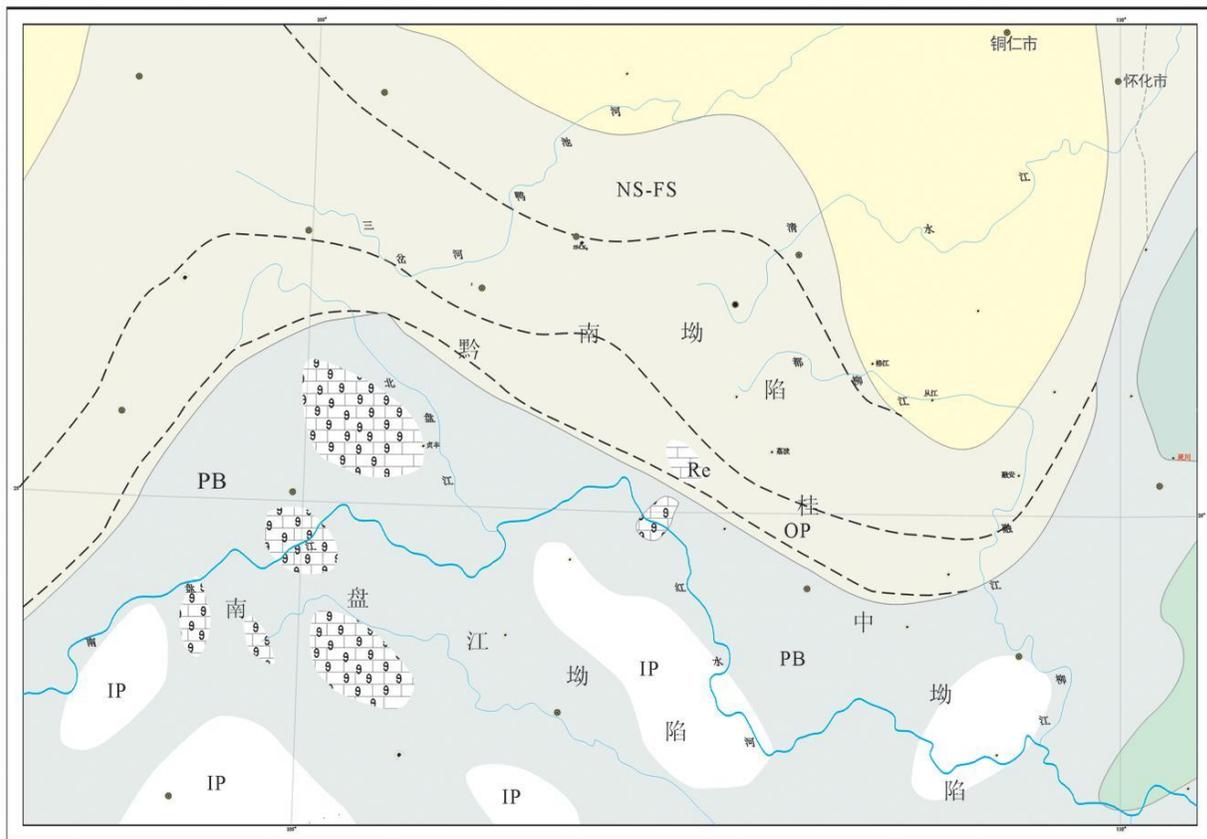


图 6 SS₂海侵体系域储集体分布预测图

Fig 6 Distribution of the reservoir rocks in the transgressive systems tract

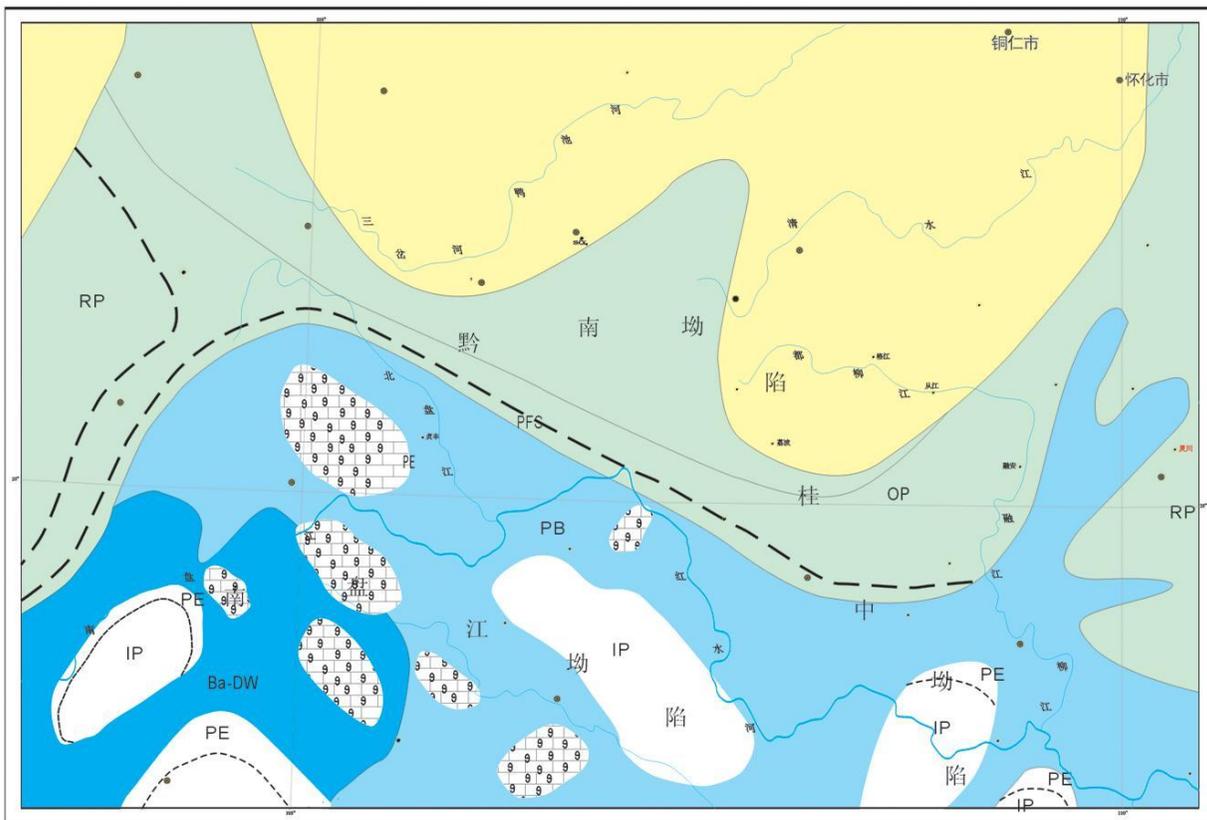


图 7 高位体系域储集体主要分布图

Fig 7 Distribution of the reservoir rocks in the highstand systems tract

4 结 论

(1)通过对研究区野外剖面、钻井剖面详细观察和层序特征的研究,将研究区泥盆系划分为2个超层序(二级层序)。

(2)研究区内层序格架中的储集体类型主要为:生物礁(滩)储集体、白云岩储集体。

(3)研究区有利的储集体主要有 TSI礁滩灰岩储集体、HSI礁滩灰岩、白云岩储集体。

参考文献:

[1] 郭令智,施央申,马瑞士,等.华南大地构造格局和地壳演化[M].国际交流地质学术论文集(一)[C].北京:地质出版社,1980

[2] 黄汲清,任纪舜,姜春发,等.中国大地构造及其演化[M].北

京:科学出版社,1980

[3] 刘宝珺,许效松,潘杏南,等.中国南方古大陆沉积地壳演化与成矿[M].北京:科学出版社,1993

[4] 贵州省地质矿产局.贵州省区域地质志[M].北京:地质出版社,1987.194-226

[5] 广西地矿局.广西地质志[M].北京:地质出版社,1988

[6] 梅冥相,高金汉,李东海,等.黔桂地区泥盆系层序格架及相对海平面变化[J].沉积学报,2003,21(2):297-304

[7] 钱奕中,陈洪德,刘文均,等.层序地层学理论和研究方法[M].成都:四川科学技术出版社,1994

[8] 林小兵,李国忠,田景春,等.碳酸盐岩层序地层格架内的成岩作用及储层特征研究[D].成都:成都理工大学,2007

[9] 李文汉.层序地层学基础和关键定义[J].岩相古地理,1989(6):32-41

[10] 范嘉松.中国生物礁与油气[M].北京:海洋出版社,1996.170-244

[11] 覃建雄,曾允孚,陈洪德,等.盆地生物礁层序地层学研究[J].地质科学,34(1):506-517.

Reservoir characteristics within the Devonian sequence stratigraphic framework in the southern Guizhou central Guangxi region

KANG Jianwei¹, LIN Xiaobing², TAN Jingchun², ZHANG Xiang²

(1. Chengdu Institute of Geology and Mineral Resources, Chengdu 610081, Sichuan, China; 2. State Key Laboratory of Oil and Gas Reservoir Geology and Exploitation, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, Sichuan, China)

Abstract: Eight sequence boundaries are recognized for the South Guizhou depression and Central Guangxi depression, including two supersequences (second-order sequences) SS₁ composed of lowstand systems tract (LS₁), transgressive systems tract (TS₁) and highstand systems tract (HS₁), and SS₂ composed of transgressive systems tract (TS₂) and highstand systems tract (HS₂). The reservoir rocks within the above-mentioned sequence stratigraphic framework consist of organic reef (bank) reservoirs, dolostone reservoirs and fissure type reservoirs. The favourable reservoir rocks include the organic reef (bank) limestone reservoirs in the transgressive systems tract, organic reef (bank) limestone reservoirs and dolostone reservoirs in the highstand systems tract.

Key words: South Guizhou depression, Central Guangxi depression, Devonian, sequence stratigraphic framework, reservoir rock