

文章编号: 0253-9985(2006)03-0413-09

碳酸盐岩层序地层储层预测 ——十万大山地区的应用

李国蓉¹, 王 鑫¹, 周心怀², 乔占峰¹, 曾允孚¹

(1. 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

2. 中国海洋石油总公司 天津分公司, 天津 300452)

摘要: 利用层序地层学研究可将碳酸盐岩储层分为层序内部储层和层序界面储层。在研究中首先根据碳酸盐岩生长率判断上述两类储层的发育潜力; 然后, 通过等时单元礁滩相展布的精细刻划预测层序内部储层的发育分布, 通过层序不整合面类型及性质分析, 预测评价层序界面储层的发育状况。十万大山地区泥盆系为“进积楔”型台地, 碳酸盐岩生长率低, 主要发育受“Ⅰ型层序不整合界面”控制的储层, 储层总体发育良好; 石炭纪为陆表海“加积”型台地, 碳酸盐岩生长率低, 属于受四级层序界面和三级层序界面控制的层序界面储层, 储层发育状况较差; 下二叠统层序内部储层和受三级层序界面控制的层序界面储层均欠发育, 仅凭祥-东门断裂北侧发育的点状生物礁储层, 以及受东吴期构造层序界面控制的岩溶缝孔洞型储层应予以重视; 上二叠统碳酸盐岩层序内部储层和层序界面储层均不发育; 下三叠统, 北部台地碳酸盐岩生长率较高, 层序内部储层和层序界面储层均有发育, 南部台地碳酸盐岩生长率低, 两类储层均不发育。主要发育的储层段与二级海平面旋回海退期密切联系。

关键词: 层序内部储层; 层序界面储层; 碳酸盐岩生长率; 储层预测; 泥盆系一下三叠统; 十万大山

中图分类号: TE112.2

文献标识码: A

Carbonate reservoirs prediction with sequence stratigraphy application in Shiwandashan area

Li Guorong¹, Wang Xin¹, Zhou Xinhua², Qiao Zhanfeng¹, Zeng Yunfu¹(1. State Key Laboratory of Oil & Gas Reservoir Geology and Exploitation, Chengdu University of Technology,
Chengdu, Sichuan 610059; 2. Tianjin Division Company, CNOOC, Tianjin 300452)

Abstract Carbonate reservoirs can be divided into intra-sequence reservoirs and sequence boundary reservoirs based on study of sequence stratigraphy. First of all, the development potentials of the two types of reservoirs mentioned above are defined according to the growth rate of carbonates; then the distribution of intra-sequence reservoirs is predicted through detailed delineation of the distribution of isochronous unit reef flat facies, and the development of sequence boundary reservoirs is predicted on the basis of analysis of the types and natures of sequence unconformity surfaces. The Devonian in Shiwandashan area is a “progradational wedge” platform with low growth rate of carbonates, and is dominated by reservoirs controlled by “type-I sequence unconformity interface”; as a whole, the reservoirs are well developed. The Carboniferous is an “aggradational” platform in epicontinental sea with low growth rate of carbonates, and is dominated by sequence boundary reservoirs under the control of the fourth-order and third-order sequence boundaries; the reservoirs are poorly developed. Both the intra-sequence reservoirs and the sequence boundary reservoirs under the control of third-order sequence boundary in the Lower Permian are poorly developed; only the scattered point reef reservoirs developed to the north of Pingxiang-Dongmen fault and the karstic, fractured and vuggy reservoirs controlled by the sequence boundary formed during Dongwu tectonic movement are worthy to be considered. Neither the intra-sequence reservoirs nor the sequence boundary reservoirs are developed in the Upper Permian carbonates. As for the Lower Triassic, both intra-sequence reservoirs and sequence boundary reservoirs are developed in the northern part of

收稿日期: 2006-04-30

第一作者简介: 李国蓉, 男 (1964—), 副教授、博士, 储层地质学与地球化学

the platform due to the high growth rate of carbonates, but neither of them is developed in the southern part of the platform due to the low growth rate of carbonates. The main reservoirs are closely related with the regression phase of second-order eustatic cycle.

Key words intra-sequence reservoir; sequence boundary reservoir; growth rate of carbonates; reservoir prediction; Devonian-Lower Triassic; Shiwandashan

层序地层学研究在油气勘探开发领域里的应用正在不断加强,从初期各个体系域储集体的发育分布和凝缩段为良好生油段的泛论,到低水位砂体或下切河谷砂体成为油气勘探的优选目标,到现在非构造圈闭的寻找和勘探、储层精细预测描述、储层非均质性描述、油气开发层系及流动单元划分等都依赖着层序地层学研究。然而,应该指出的是,上述层序地层学研究在油气勘探开发领域中的应用多见效于中生代碎屑岩地层中^[1~6]。对于碳酸盐岩地层,尽管已有许多学者对碳酸盐岩层序划分的标志、层序形成机制和控制因素、层序地层格架模式、层序框架内沉积相展布以及碳酸盐岩高频层序地层作了深入的研究^[1,7~11];已有许多学者对碳酸盐岩层序地层与储层发育关系进行了孜孜不倦的探索^[12~16],但如何根据层序地层学研究来预测碳酸盐岩储层还远未走向成熟。本文以广西十万大山地区泥盆系一下三叠统为研究对象,对利用层序地层学手段进行碳酸盐岩储层预测评价的思路进行了探索和应用。

1 碳酸盐岩层序地层储层发育预测的思路

1.1 层序内部储层与层序界面储层

有关碳酸盐岩储层形成的机制多种多样,碳酸盐岩储层分类也有多种方案,但从层序地层学研究出发,进行储层发育展布预测,可将碳酸盐岩中发育的储层分为层序内部储层和层序界面储层。

层序内部储层,位于三级层序的各个体系域内,并和海平面变化速率与碳酸盐岩生长率平衡条件下发育的并进型碳酸盐岩体系相联系。储层的形成,一方面受控于高生长率条件下,碳酸盐沉积物迅速脱离海底(海水)成岩环境,岩石中早期海底胶结物较少,有利于原生粒间孔隙的有效保存;另一方面受控于这一条件下沉积物暴露于大气水环境,发生同生期溶蚀形成的次生孔隙。因此,储层

储渗空间将以粒间孔、粒间溶孔、粒内溶孔、铸模孔为主,储层内部性质相对较均一。显然,只有浅滩相颗粒灰岩和礁灰岩可发育成这类储层。

层序界面储层,发育于层序不整合界面下附近,它的发育与层序不整合界面形成期间的淡水透镜体或大气水-海水混合带的建立和活动相联系;储集层往往是白云岩类(尤其是混合水成因白云岩),也可是灰岩类;或是在层序内部储层基础上的叠加;储集空间类型可包括粒内溶孔、粒间溶孔、晶间孔、晶间溶孔、溶蚀孔洞、溶缝等;储集空间组合因具体情况而异,储集空间具有非均质性,但在区域上具有可对比性。

显然,从层序地层学角度,这两类储层的发育和展布将受 3 个因素的控制,其一是受可容纳空间变化速率控制的碳酸盐岩生长率,它是层序框架内储层发育的基本控制因素;其二是受海平面变化速率所决定的层序不整合界面性质,它对层序界面储层的发育展布有重要作用;其三是碳酸盐岩台地类型,它决定了台地上碳酸盐岩的生长机制,影响台地上礁滩相的发育分布,影响层序不整合面的作用,从而在一定程度上制约储层的发育展布。

1.2 利用层序地层进行储层预测

基于上述两类储层的形成机制和控制因素,利用层序地层学进行碳酸盐岩储层预测的基本思路为:

1) 碳酸盐岩生长率分析

以整个研究层段为单元或分段计算碳酸盐岩的生长速率,与世界上已有碳酸盐岩生长率参考值进行比较,判断生长率的高低和储层类型发育状况。通常,高碳酸盐岩生长率剖面,既发育层序界面储层,又发育层序内部储层,涉及的储集岩石类型可以是颗粒灰岩,也可以是白云岩;低碳酸盐岩生长率剖面,层序内部储层不太发育,以层序界面储层为主,储集岩石类型主要是白云岩。

2) 等时单元礁滩相展布精细刻画

层序内部储层与高生长率的礁滩相相密切联系,准确认识礁滩相分布是层序内部储层预测的

关键, 可在碳酸盐岩台地类型认识的基础上, 通过层序地层学研究, 以层序、体系域以及高频层序为等时单元, 编制沉积相展布图和礁滩相展布图。

3) 层序不整合面性质分析

不同类型的层序不整合面, 代表的海平面变化速度及降低幅度、大气水作用时间、水动力强度的不同, 也必然将导致层序界面储层发育的广度和深度不同。因此, 可以通过层序地层界面的性质, 结合岩相展布, 预测层序界面储层的发育状况。通常, 与 I 型层序不整合界面有关的层序界面储层, 储层厚度相对较大, 台地边缘好于台地内部; 与 II 型层序不整合界面相关的层序界面储层, 厚度较小, 主要发育于台地内部。与构造层序不整合面相关的层序界面储层可涉及更大的深度、更加广泛的区域, 具有极强的非均质性。

2 碳酸盐岩层序地层储层预测

广西十万大山地区泥盆系一下三叠统主要为碳酸盐岩沉积, 台地经历了由“进积楔”型台地 (泥盆纪) — 陆表海 “加积” 型台地 (石炭纪 — 早二叠世) — 缓坡 (晚二叠世) — “进积楔” 型台地 (早三

叠世) 的变化。既有全球构造因素制约的海平面变化旋回 (泥盆纪、早三叠世), 又有冰川性因素引起的海平面变化旋回 (石炭纪 — 二叠纪), 发育 I 型、II 型以及构造层序不整合面等系列齐全的层序界面类型, 是进行碳酸盐岩层序地层储层预测探索的理想区域。

2.1 泥盆系碳酸盐岩储层

表 1 是区内泥盆纪台地区碳酸盐岩生长率, 其变化范围为 11.84~37.03 $\mu\text{m/a}$ 与澳大利亚等地泥盆系碳酸盐岩的生长率相似, 属低碳酸盐岩生长率范畴。因此, 泥盆系碳酸盐岩应以层序界面储层为主, 据横县六景剖面、龙州武德 — 板化剖面和万参 1 井等的观察和研究, 其储层主要为中、下泥盆统埃姆斯阶中部 — 艾菲尔阶中部的白云岩, 次为上泥盆统法门阶白云岩。

1) 中、下泥盆统埃姆斯阶中部 — 艾菲尔阶中部白云岩储层

区内中、下泥盆统埃姆斯阶中部 — 艾菲尔阶中部白云岩地层可识别出 5 个三级层序, I 型层序不整合界面发育, 该套储层为受 “I 型层序不整合界面” 控制的储层。图 1 是处于上思 — 横县台

表 1 泥盆纪台地区碳酸盐岩生长率
Table 1 The growth rate of carbonates in Devonian platform area

地层时代	横县六景剖面 (台地边缘)	万参 1 井 (台地内部)	龙州武德 — 板化剖面 (台地边缘)
埃姆斯中期 — 艾菲尔中期	> 21.88 $\mu\text{m/a}$	38.06 $\mu\text{m/a}$	36.10 $\mu\text{m/a}$
艾菲尔中期 — 弗拉斯期	11.84 $\mu\text{m/a}$		26.05 $\mu\text{m/a}$
法门期			37.03 $\mu\text{m/a}$

注: 澳大利亚 Canning 盆地 Pillara 灰岩生长率为 30 $\mu\text{m/a}$ 下 Keg River 礁台地为 14 $\mu\text{m/a}$ 。

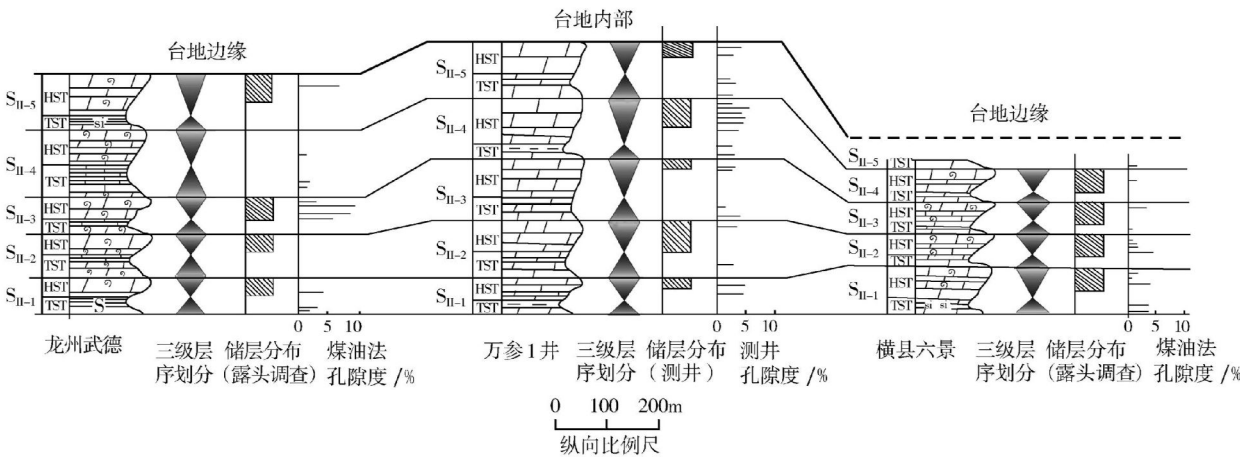


图 1 中、下泥盆统白云岩层序地层与储层发育关系

Fig. 1 Relationship between sequence stratigraphy and reservoir development in Lower and Middle Devonian dolomite

地内部的万参 1 井、台地边缘的横县六景剖面和大新-隆安台地边缘的龙州武德剖面该套地层层序地层与储层发育状况的对比,储层发育具有如下特征:

①储层段与三级层序高水位体系域有良好的对应关系,储层段之间由孔隙不发育的海侵体系域白云岩分隔,多个三级层序的发育导致纵向上储层发育具有分段性;

有关物性分析结果(表 2、表 3),海侵体系域白云岩孔隙度较低,高水位体系域白云岩孔隙度可高可低,与野外观察描述不完全一致,反映了储层物性的非均质性和被测试的多为基块部分的影响;

②由于与 I 型层序不整合面相联系的大气水

或大气水-海水混合水的改造时间较长、强度较大,因此,储层厚度往往较大,据统计,储层单层厚度为 40~60 m;

③区内构造相对稳定,全球海平面变化是层序发育的主控因素,决定了不同台地区层序内部构成具有相似性,储层发育在同一个台地内部不同区域,不同的台地区均具有可比性;

④早、中泥盆世台地为“进积楔”型台地,决定了在统一的 I 型层序不整合面制约下,台地边缘储层质量好于台地内部。

台地内部区域,以蒸发泵和渗透回流机制成因白云岩为主体,原始孔渗条件差,阻碍着 I 型层序不整合面形成期间大气水的有效渗透和溶蚀作用的广泛发生,因此储集性能较差;据万参 1 井分

表 2 龙州武德剖面中、下泥盆统白云岩孔隙度分析结果

Table 2 Porosity data of Lower-Middle Devonian dolomite in Wude section, Longzhou

序号	样品小层及样号	孔隙度 %	层序中所处位置	剖面上储渗空间发育状况
1	28-43	0.68	层序 $S_{II-5}HST$	溶蚀孔洞较为发育
2	28-42	7.50	层序 $S_{II-5}HST$	溶蚀孔洞较为发育
3	26-40	0.74	层序 $S_{II-4}HST$	溶蚀孔洞不发育
4	23-35	1.69	层序 $S_{II-4}TST$	溶蚀孔洞不发育
5	23-34	1.46	层序 $S_{II-4}TST$	溶蚀孔洞不发育
6	22-33	2.88	层序 $S_{II-3}HST$	溶蚀孔洞特别发育
7	22-32	10.69	层序 $S_{II-3}HST$	溶蚀孔洞特别发育
8	21-31	9.65	层序 $S_{II-3}HST$	溶蚀孔洞特别发育
9	21-30	6.18	层序 $S_{II-3}HST$	溶蚀孔洞特别发育
10	15-24	3.61	层序 $S_{II-1}HST$	溶蚀孔洞发育
11	13-20	3.19	层序 $S_{II-1}TST$	溶蚀孔洞不发育
12	13-19	1.41	层序 $S_{II-1}TST$	溶蚀孔洞不发育

注:由于碳酸盐岩易破碎,被测试的样品多为基块部分。

表 3 横县六景剖面中、下泥盆统白云岩孔隙度分析结果

Table 3 Porosity data of Lower-Middle Devonian dolomite in Liujing section, Hengxian

序号	样品小层及样号	孔隙度 %	层序中所处位置	剖面上储渗空间发育状况
1	59-65	1.32	层序 $S_{II-5}TST$	溶蚀孔洞不太发育
2	57-62	0.98	层序 $S_{II-4}HST$	溶蚀孔洞发育
3	55-59	2.92	层序 $S_{II-3}HST$	溶蚀孔洞特别发育
4	50-56	0.60	层序 $S_{II-3}TST$	孔洞不发育
5	48-54	0.80	层序 $S_{II-2}HST$	溶蚀孔洞发育
6	47-53	0.82	层序 $S_{II-2}HST$	溶蚀孔洞发育
7	46-52	1.69	层序 $S_{II-2}HST$	溶蚀孔洞发育
8	45-51	4.87	层序 $S_{II-2}HST$	溶蚀孔洞发育
9	43-49	1.44	层序 $S_{II-1}HST$	溶蚀孔洞较为发育
10	43-48	1.45	层序 $S_{II-1}HST$	溶蚀孔洞较为发育
11	43-47	0.86	层序 $S_{II-1}HST$	溶蚀孔洞较为发育
12	42-46	3.98	层序 $S_{II-1}HST$	溶蚀孔洞较为发育
13	40-45	3.98	层序 $S_{II-1}TST$	溶蚀孔洞较为发育
14	39-44	3.18	层序 $S_{II-1}TST$	溶蚀孔洞较为发育

注:由于碳酸盐岩易破碎,被测试的样品多为基块部分。

析,此套储层岩性为粉晶白云岩、含生屑白云岩和藻白云岩,主要发育少量晶间孔、晶间溶孔、溶缝等;岩心煤油法孔隙度反映出储层基质孔隙度低,多为 0.37%~2.80%;据测井资料计算结果,孔隙度为 2.00%~6.00%,个别达 8.50%,主要属 II-IV 类储层。

台地边缘区是 I 型层序不整合界面形成时期大气水-海水混合带建立的最佳位置,其高水位体系域沉积物往往经混合水作用转换为孔渗性好的白云岩,加之进一步的大气水溶蚀改造作用,常形成溶蚀孔洞发育的良好储层。据横县六景剖面 and 龙州武德剖面研究,储层岩性为亮晶生屑白云岩、中-细晶生屑白云岩等;储集空间类型多样,包括晶间孔、晶间溶孔、粒间溶孔、粒内溶孔、铸模孔和溶蚀孔洞、溶缝、洞穴等,洞穴多数 1~2 cm;野外实测面孔率 10%~25%,主要构成 I 和 II 类储层。

2) 上泥盆统法门阶白云岩储层

区内上泥盆统法门阶可识别出 4 个三级层序,以 II 型层序不整合界面发育为特征,属于受 II 型层序不整合界面控制的储层。据横县六景、龙州板化剖面研究,储层发育具有如下特征:

① 储层主要出现于三级层序高水位体系域上部或顶部。

② 储集岩主要为超盐度蒸发作用和渗透回流成因的残余球粒粉晶白云岩、粉晶白云岩以及细晶白云岩,储集空间为晶间溶孔、粒间溶孔、膏模孔及膏溶孔洞。

③ 由于与 II 型层序不整合面相联系的大气水改造时间相对较短,作用强度相对较弱,因而,此类储层的厚度较小,储集性也相对较差。如六景剖面揭示此类储层单层厚度 2~3 m,面孔率约 5%~6%;龙州板化剖面此类储层单层厚度稍大,有效面孔率也仅 5%。

2.2 石炭系碳酸盐岩储层

石炭纪,区内台地区由于特定的构造沉降速率和全球冰川性海平面变化的综合效应,碳酸盐岩生长率低。据龙州板旺上石炭统剖面计算,仅为 26.47 $\mu\text{m/a}$ 因此,层序内部储层不发育。剖面观察也表明尽管颗粒灰岩发育,但均因早期海底方解石严重胶结而失去有效储集空间。因此,石炭系亦应以寻找层序界面储层为主。

根据龙州板旺剖面 and 上思三化剖面的观察研

究,石炭系可识别出 13 个三级层序,储层在层序中分布于与冰川期海平面相对应的上部单元中(图 2),具体为冰川期海平面背景下四级海平面海退期沉积的白云岩单元,白云岩主要为蒸发泵及渗透回流成因的微晶白云岩、藻白云岩和中-细晶白云岩等,储层的形成与四级海平面旋回中的暴露面和三级层序不整合面相联系的大气水溶蚀作用有关,储集空间主要为溶蚀作用形成的膏模孔、晶间溶孔、窗状溶孔等次生孔隙。但由于四级海平面变化旋回中的暴露面和三级层序不整合界面作代表的海平面下降幅度小,大气水作用时间短,因而岩石受溶蚀改造深度小,储层仅限于白云岩层内,储层单层厚度一般为 2 m,个别达 10 m,受溶蚀改造强度弱,储层储集性能较差,有关样品煤油法孔隙度测定结果,多为 2.00%~3.00%,野外露头亦未见到大孔隙或大洞穴存在,属较差的储层。

由于区内石炭纪台地为大型陆表海“加积”型台地,台地边缘并非高能相带,这种四级海平面变化旋回中的暴露面和三级层序不整合界面在台地区内部表现明显,而在台地边缘区域可能不出现,因而处于台地区内部的龙州板旺剖面,石炭系层序中白云岩及其储层较为发育,处于台地边缘的上思三化剖面,石炭系层序中白云岩及其储层欠发育。

2.3 下二叠统碳酸盐岩储层

早二叠世,十万大山地区仍属陆表海“加积型”台地,据龙州板旺、宁明亭亮、上思三化等地下

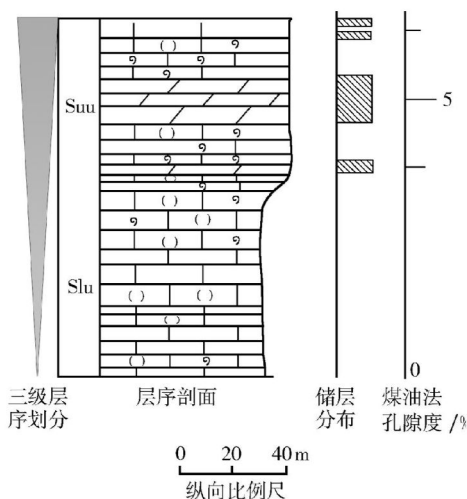


图 2 石炭系储层在层序中的分布

Fig. 2 The distribution of Carboniferous reservoirs in sequence stratigraphy

表 4 早二叠世台地区碳酸盐岩生长率计算结果

Table 4 The growth rate of carbonates in Early Permian platform area

地层时代	空谷期	亚丁斯克期
龙州板旺剖面 (台地内部)	21.58 $\mu\text{m/a}$	23.97 $\mu\text{m/a}$
上思三化剖面 (台地边缘)	大于 19.82 $\mu\text{m/a}$	26.90 $\mu\text{m/a}$
宁明亭亮剖面 (台内生物礁)	大于 66.50 $\mu\text{m/a}$	

注: 新墨西哥 Capitan 礁为 55~83 $\mu\text{m/a}$ 。

二叠统碳酸盐岩生长率计算结果(表 4), 大部分地区碳酸盐岩生长率与石炭系相近或略有降低, 代表了这一时期三级海平面变化旋回中海侵规模较晚石炭世增大的影响。相应地三级层序下部单元为潮下较深水相微晶灰岩沉积, 层序上部单元为潮下-潮坪相颗粒灰岩-藻灰岩沉积, 而不是灰岩-白云岩副层序。同时, 通过剖面观察, 早二叠世发育的三级层序不整合界面大气水溶蚀标志也不明显。因此, 可以认为, 区内广大地区均不发育层序内部储层和受三级层序不整合界面控制的层序界面储层。但凭祥-东门断裂北侧生物礁发育区是个例外, 因其具有较高的碳酸盐岩生长率。

此外, 下二叠统还可受到东吴期构造不整合界面所控制的大气水作用的影响, 因此区内下二叠统可发育两类储层。

1) 凭祥-东门断裂北侧呈带状展布的茅口组点状生物礁储层

此类储层可能是层序内部储层和层序界面储层的叠加复合体, 由于碳酸盐岩生长率较高, 沉积物能快速脱离海底进入埋藏状态, 早期海底胶结作用相对不强烈, 原生的骨架间孔洞得到部分保存, 属层序内部储层性质。同时碳酸盐岩生长率高, 可使它成为台地区内的沉积高地, 在海平面下降过程中有较长时间接受大气水溶蚀, 甚或大气水-海水混合透镜带的形成, 而使碳酸盐岩沉积物发生混合水白云石化。岩石中溶蚀孔洞发育, 具有“I型”层序不整合界面控制的储层特征。据宁明驮龙、亭亮、板利、柳桥等处观察和研究, 此类生物礁储层在纵向上与 3 个三级层序的层序上部单元(SU)对应, 储层岩石类型主要为礁灰岩, 其次为藻粘结灰岩和混合水白云岩, 储集空间主要为

骨架间孔洞、窗状孔和溶蚀孔洞, 且多为沥青所充填, 表明石油进入时期它们是有效储层。

2) 下二叠统受东吴构造运动界面控制的岩溶缝孔洞型储层

早二叠世末, 区内受到较强烈的东吴运动影响, 南部钦防海盆区域表现为褶皱造山, 北部碳酸盐台地区域表现为构造抬升, 海水退出, 岩石进入大气水风化岩溶环境。据下二叠统上部缺失的地层加以分析, 台地相区岩石此次暴露地表遭受剥蚀改造时间至少为 2 Ma 最多可达 10 Ma 具有形成良好的缝孔洞型储层的地质条件。据区内龙州板旺、宁明驮龙、上思三化剖面观察, 受此构造层序不整合界面控制的大气水岩溶深度可涉及茅口组的 3 个三级层序(图 3), 厚度大于 200 m, 主要表现为沿裂缝发育的大型洞穴, 但发育分布极不均匀, 并为亮晶方解石充填, 少数洞穴可保存部分有效储集空间。

2.4 上二叠统碳酸盐岩储层

区内上二叠统碳酸盐岩主要分布于凭祥-东门断裂与宁明-上思断裂所夹的断块内。由于晚二叠世, 包括研究区在内的特提斯域海平面变化表现为不断上升^①, 加之区内断裂下陷作用的叠加, 因而海平面变化和可容纳空间变化速率将大大超过碳酸盐岩生长率, 致使区内上二叠统发育追补型碳酸盐岩体系, 储层发育条件较差。据凭祥剖面计算, 当时碳酸盐岩生长率为 31.25 $\mu\text{m/a}$ 剖面中尽管浅缓坡背景的颗粒灰岩和缓坡后潮坪藻灰岩发育, 但粒间孔和藻窗状孔均被早期海底方解石严重胶结, 层序内部储层不发育。同时, 层序界面主要为 II 型层序不整合界面, 受大气水溶蚀改造程度极弱, 与此相关的层序界面储层亦不发育。

2.5 下三叠统碳酸盐岩储层

区内下三叠统碳酸盐岩地层可识别出 3~3.5 个三级层序, 图 4 是北部台地区崇左江州剖面和南部台地区钦州四联剖面碳酸盐岩层序地层与储层发育分布状况的比较, 可见早三叠世, 区内北部的大新-崇左台地和南部的大寺-小董台地的层序演化及储层发育状况各异。

① 覃建雄, 西南地区二叠系层序地层与油气预测. 博士学位论文, 1996

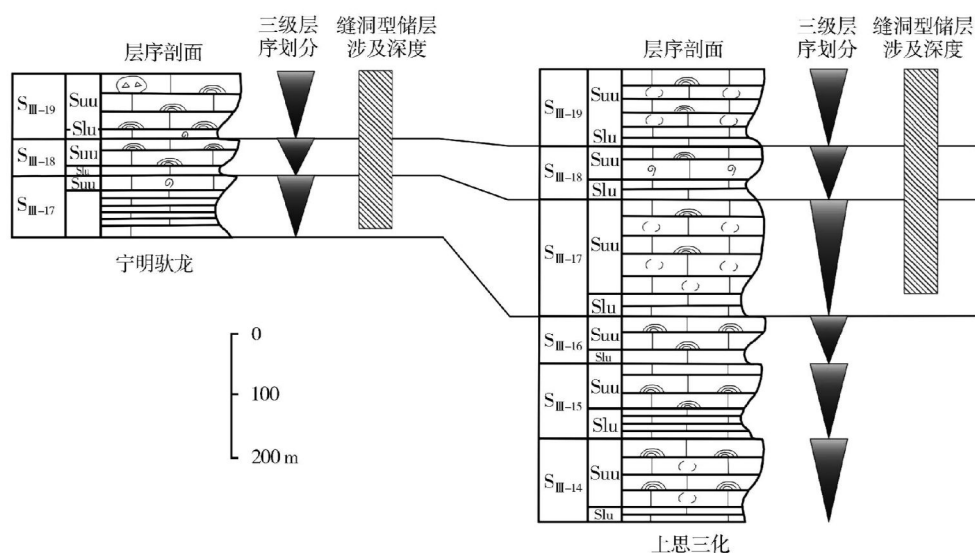


图 3 下二叠统层序地层与岩溶缝洞性储层

Fig. 3 Sequence stratigraphy of the Lower Permian carbonates and distribution of the karstic, fractured and vuggy reservoirs

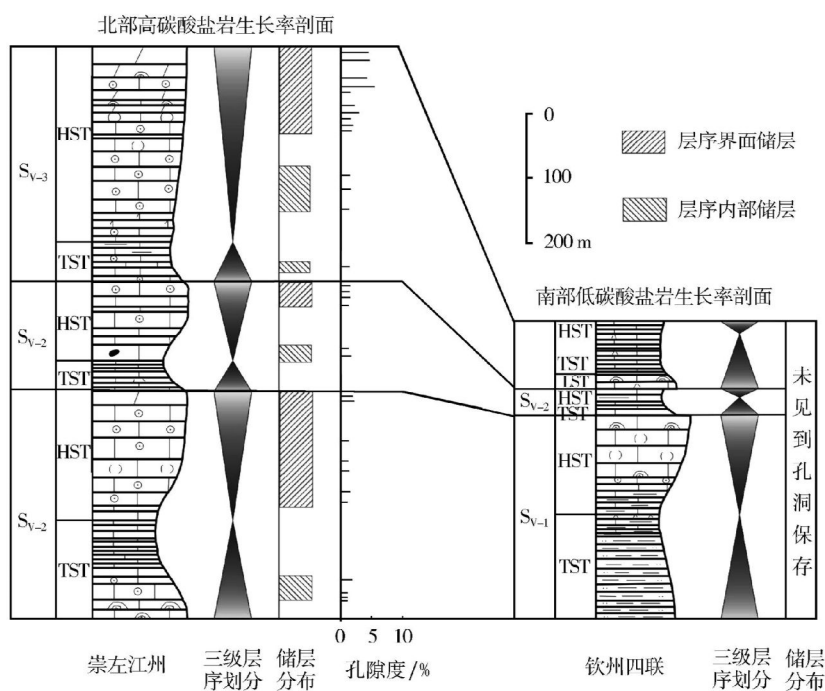


图 4 下三叠统层序地层与储层发育分布

Fig. 4 The distribution of reservoirs and carbonate sequence stratigraphy in the Lower Triassic carbonates

1) 北部大新-崇左碳酸盐岩台地区

北部台地区构造较稳定,碳酸盐岩生长率高,据崇左江州剖面推算,可达 86.18~107.73 $\mu\text{m}/\text{a}$ 。既有层序内部储层,又有发育的层序界面储层。台地为“进积楔”型台地,决定了这些储层主要发育在台地边缘区。

① 层序内部储层

据台地边缘崇左江州剖面分析,层序内部储层发育于下三叠统三级层序 S_{V-1} 海侵体系域下

部,层序 S_{V-2} 高水位体系域下部,层序 S_{V-3} 海侵体系域下部和高水位体系域下部。主要属浅滩相颗粒灰岩沉积,储层储集空间的发育与碳酸盐岩生长率较高,早期海底胶结作用较弱,原生孔隙得到部分保存和在此基础上有效的同生期大气水溶蚀作用有关。储集空间主要为粒间溶孔和粒内溶孔等,现今因固体沥青封堵,孔隙度仅 0.39%~1.28%,但沥青负孔隙度统计达 7.00%~15.00%^①,表明在石油进入时期它是有效的储层。

① 郑荣才,谭文斌,柳梅青,等,广西南明、上思地区下三叠统沉积相、成岩作用及储集性研究, 1991

② 受 I 型层序不整合界面控制的储层

北部台地区, 下三叠统以发育 I 型层序不整合界面为特征, 与之联系的大气水或大气水-海水混合作用较强烈, 从位于台地边缘区的崇左江州剖面来看, 上述 3 个三级层序高水位体系域上部均构成良好储层段, 储集岩包括亮晶颗粒灰岩、藻白云岩和粉-细晶白云岩。储集空间主要为粒间溶孔、粒内溶孔、晶间孔、窗状溶孔、溶蚀孔洞等。同层序内部储层一样, 上述储集空间现今已为固体沥青封堵, 表明在石油进入时期它是有效储集体。

2) 南部大寺-小董台地区

南部台地区构造沉降速率较大, 并在三级层序 S_{V-1} 之后加速下沉, 因而仅见三级层序 S_{V-1} 高水位体系域有较厚的台地相碳酸盐岩沉积, 据小董多隆、江口、四联等地剖面观察, 尽管颗粒灰岩发育, 但均已被早期海底方解石严重胶结, 失去有效储层空间。同时该层序顶界面为 II 型层序不整合面, 受大气水溶蚀改造程度弱, 也难于发育成良

好的层序界面储层, 可见南部台地区碳酸盐岩储集条件较差。

3 二级海平面变化旋回海退期控制主要储集层段的发育

研究发现, 碳酸盐岩地层中, 并不是每一个三级层序的高水位体系域或高水位体系域上部都能发展为储层, 主要碳酸盐岩储集层段的发育与二级海平面变化旋回的海退期有着更为密切的关系(图 5)。如中下泥盆统埃姆斯阶中部-艾菲尔阶中部白云岩储层与泥盆纪洛赫考夫期-艾菲尔中期二级海平面变化旋回的海退期对应, 上泥盆统法门阶白云岩储层则与泥盆纪艾菲尔中期-法门期二级海平面变化旋回的海退期相联系, 下二叠统茅口组生物礁储层的发育也处在早二叠世二级海平面变化旋回的海退期内, 下三叠统主要储层段仍可视作在早三叠世印度期-奥伦尼克期二级

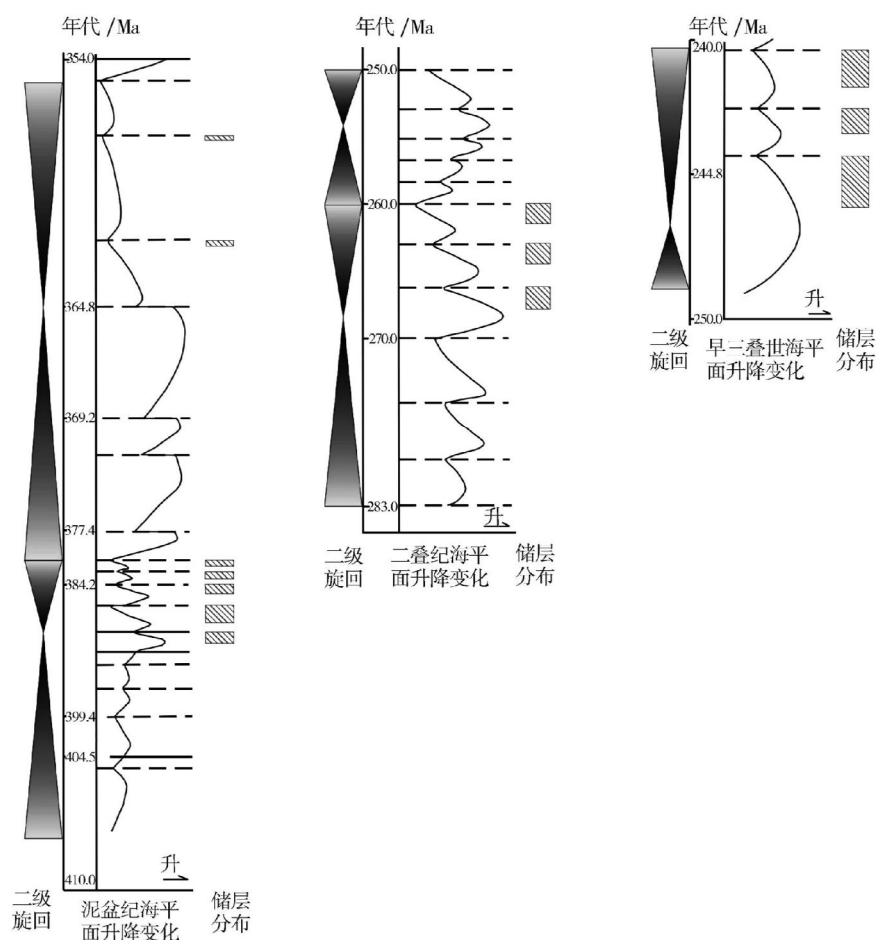


图 5 储层发育与二级海平面变化旋回

Fig. 5 The relationship between reservoir development and the second-order eustatic cycle

海平面变化旋回的海退期内。

由此认为,它们之间的联系可能具有必然性。二级海平面变化旋回的海退期为三级海平面变化旋回具有的短时间海侵和长时间海退的特征,它使得三级层序发育过程中,有更长的时间保持碳酸盐岩生长率和可容纳空间变化速率的平衡,有利于并进型碳酸盐岩体系的发育和层序内部储层的发育;其次,二级海平面变化旋回的海退期,使三级海平面海退规模逐渐加大,往往更有利于I型层序不整合界面的发育,因而较之二级海平面变化旋回的海侵期,更有利于良好的层序界面储层的发育。因此,二级海平面海退期碳酸盐岩更有可能形成区域性的储层段。

参考文献

- Wilgus C K, Posamentier H W, Sarg J F. 徐怀大,魏魁生,洪卫东,译.层序地层学原理(海平面变化综合分析)[M].北京:石油工业出版社,1995
Wilgus C K, Posamentier H W, Sarg J F, written Xu Huaida Wei Kuisheng Hong Weidong translated Sequence stratigraphy theory (analysis of change of sea level) [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1995
- 贾承造.层序地层学研究新进展[J].石油勘探与开发,2002,29(5): 1~5
Jia Chengzao. Some new achievements in sequence stratigraphy research [J]. Petroleum Exploration & Development, 2002, 29(5): 1~5
- 顾家裕,张兴阳.陆相层序地层学进展与在油气勘探开发中的应用[J].石油与天然气地质,2004,25(5): 484~490
Gu Jiayu, Zhang Xinyang. Progress in continental sequence stratigraphy and its application in petroleum exploration and development [J]. Oil & Gas Geology, 2004, 25(5): 484~490
- 邓宏文,王红亮,王居峰,等.层序地层构成与层序控砂、控藏的自相似特征——以三角洲-浊积扇体系为例[J].石油与天然气地质,2004,25(5): 491~495
Deng Hongwen, Wang Hongliang, Wang Jufeng et al. Self-similarity of constitution of sequence stratigraphy and distribution of sandbodies and lithologic reservoirs taking delta-turbidite fan system as an example [J]. Oil & Gas Geology, 2004, 25(5): 491~495
- 王振奇,张昌民.油气储层的层次划分和对比技术[J].石油与天然气地质,2002,23(1): 20~25
Wang Zhenqi, Zhang Changmin. Correlation Technique and hierarchy division of oil-gas reservoir [J]. Oil & Gas Geology, 2002, 23(1): 20~25
- 徐强.中国层序地层研究现状和发展方向[J].沉积学报,2003,21(1): 155~167
Xu Qiang. Research status and development direction of sequence stratigraphy in China [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2003, 21(1): 155~167
- Handford C R, Louchs R G. Carbonate depositional sequences and systems tract—Responses of carbonate platforms to relative sea-level changes [C]. AAPG Memoir, 1994
- Campbell A E. Shelf geometry response to changes in relative sea level on a mixed carbonate-siliciclastic shelf in the Guyana basin [J]. Sedimentary Geology, 2005, 175: 259~275
- Boole J. Distribution and geometry of facies and early diagenesis: the key to accommodation space variation and sequence stratigraphy, Upper Cretaceous Congost carbonate platform, Spanish Pyrenees [J]. Sedimentary Geology, 2002, 175: 225~247
- Guertin L A. Hiatal duration of correlative sequence boundaries from Oligocene-Pliocene mixed carbonate/siliciclastic sediments of the south Florida platform [J]. Sedimentary Geology, 2000, 134: 1~26
- 梅冥相.滇黔桂盆地及邻区泥盆纪层序地层格架及其古地理背景[J].吉林大学学报(地球科学版),2004,34(4): 546~554
Mei Mingxiang. Devonian sequence-stratigraphic framework and its paleogeographical background in the Dianqiangui basin and its adjacent areas [J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2004, 34(4): 546~554
- 陈洪德.中国南方古生界层序格架中的生储盖组合类型及特征[J].石油与天然气地质,2004,25(1): 62~69
Chen Hongde. Types and features of source-reservoir-cap rock combinations in Paleozoic sequence in southern China [J]. Oil & Gas Geology, 2004, 25(1): 62~69
- 马永生.四川盆地东北部长兴组层序地层与储层分布[J].地学前缘,2005,12(3): 179~185
Ma Yongsheng. Sequence stratigraphy and reservoir distribution of the Changxing Formation in northeastern Sichuan basin [J]. Earth Science Frontiers, 2005, 12(3): 179~185
- Mazzullo S J. 层序地层沉降中的成岩作用——边缘台地碳酸盐岩储层中的孔隙演化[J].天然气地球科学,1995,32(6): 21~25
Mazzullo S J. Diagenesis in Sequence stratigraphy subsidence—pore evolution of carbonate reservoir in marginal plateau [J]. Natural Gas Geoscience, 1995, 32(6): 21~25
- 李儒峰,鲍志东.鄂尔多斯盆地中部马五₁亚段高分辨率层序地层格架中风化成岩模式和储层特征[J].沉积学报,1999,17(3): 390~395
Li Rufeng, Bao Zhidong. Diagenesis model and reservoir characteristics within high resolution sequence stratigraphic framework in the Ma5₁ submember in Ordos basin, China [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1999, 17(3): 390~395
- 刘忠宝,于炳松,李廷艳,等.塔里木盆地塔中地区中上奥陶统碳酸盐岩层序发育对同生期岩溶作用的控制[J].沉积学报,2004,24(1): 103~109
Liu Zhongbao, Yu Bingsong, Li Tingyan et al. Sequence development controls on syngenetic karst of the Middle–Upper Ordovician carbonates in Tazhong area, Tarim basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2004, 24(1): 103~109

(编辑 李树森)