

文章编号: 1000-0550(2010) 02-0243-11

# 黔北—川东南志留系层序格架下的沉积体系演化特征 及有利区带预测<sup>1</sup>

朱志军<sup>1,2</sup> 陈洪德<sup>1</sup> 林良彪<sup>1</sup> 侯明才<sup>1</sup> 陈安清<sup>1</sup> 钟怡江<sup>1</sup>

(1. 油气藏地质及开发工程国家重点实验室(成都理工大学) 成都 610059 2 东华理工大学地球科学与测绘工程学院 江西抚州 344000)

**摘要** 黔北—川东南志留系受加里东运动抬升剥蚀仅残留中、下统地层,通过大量钻井及野外露头资料的沉积学研究,应用层序地层学方法,划分出 8 个三级层序,其中下志留统龙马溪组 2 个(SSQ1~SSQ2),石牛栏组或小河坝组 2 个(SSQ3~SSQ4),中下志留统韩家店组 4 个(SSQ5~SSQ8),识别出三角洲、陆棚、碳酸盐台地 3 类沉积体系,在等时地层格架中探讨了各沉积体系特征及其平面展布。通过层序地层划分对比及有利沉积相带研究,指出了两类有利储集层:一类为台地浅滩相和台地前缘斜坡相礁滩型生物灰岩、颗粒灰岩储层,主要发育于石牛栏期三级层序 SSQ3 和 SSQ4 的高位体系域,纵向上分布于石牛栏组中、上部,横向上分布于研究区南部叙永—习水—观音桥一带;另一类为浅水陆棚碎屑岩储层,主要发育于小河坝期三级层序 SSQ4 高水位体系域,横向上分布于南川—石柱—利川等地。

**关键词** 黔北—川东南 志留系 层序地层 沉积体系 高位体系域

**第一作者简介** 朱志军 男 1976 年出生 讲师 博士生 含油气盆地分析 E-mail zhuzj13@163.com

**中图分类号** P539.2 **文献标识码** A

## 0 引言

黔北—川东南地区位于上扬子前陆(川南—黔北)盆地的边缘相及四川盆地东南部有利天然气富集带上<sup>[1]</sup>(图 1),其南紧邻黔中古陆,油气地质条件优越,纵向上存在上三叠统一侏罗系碎屑岩、石炭系—三叠系碳酸盐岩及震旦系—志留系三大勘探层系两大勘探领域<sup>[2-5]</sup>。长期以来,该地区勘探工作重点放在二、三叠系,并取得显著成效。对于下古生界志留系,由于其岩性及沉积特征,只侧重于对其烃源岩及地球化学等方面研究<sup>[6-10]</sup>,勘探程度低。随着勘探的不断深入,及太 13 井获工业气流和南方勘探开发公司勘探开发科学研究院在黔中隆起北坡习水地区发现下志留统石牛栏组古油藏,都展示了黔北—川东南地区下古生界志留系具有良好的勘探前景。因此开展黔北—川东南地区志留纪层序地层、沉积体系的时空展布研究,对寻找新的天然气勘探接替层系、开拓新的勘探领域以及志留系储层的识别和预测工作都具有重要的理论和实际意义。

## 1 地质背景

黔北—川东南地区志留系分布广泛,但由于受加

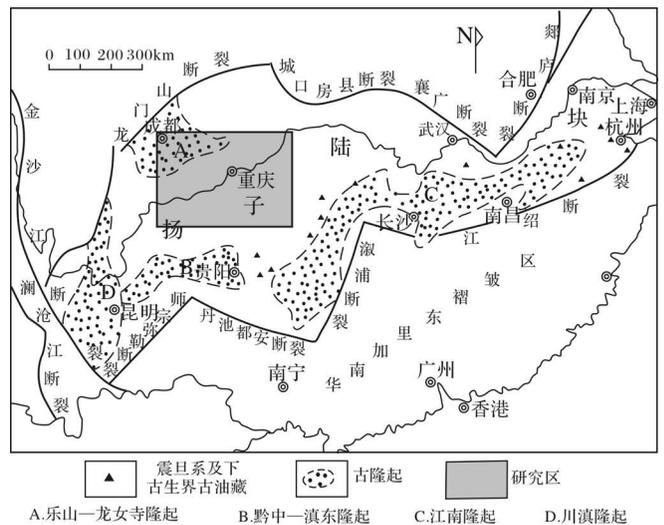


图 1 研究区位置示意图(据王根海 修改, 2000)

Fig 1 Location of the study area  
(Modified from Wang Genhai 2000)

里东运动的影响仅残留中、下统地层<sup>[11]</sup>。下统由笔石页岩、浅海相砂、页岩及碳酸盐岩组成,中统下部均为浅海相砂、页岩。前人根据化石、岩性、沉积旋回、电测曲线特征,自下而上划分为三组。下志留统下部龙马溪组(S<sub>1</sub>)由暗色泥岩组成,为上扬子地区重要的烃源岩。下志留统上部在川东南发育小河坝组(S<sub>2</sub>)

<sup>1</sup> 国家自然科学基金重点项目(批准号: 40739901)资助。

收稿日期: 2009-03-22 收修修改稿日期: 2009-05-21

x), 岩性为灰、灰绿色粉砂岩、细砂岩、石英砂岩与灰绿色粉砂质页岩及少许生物碎屑灰岩。而在黔北和川南与之相当的层位石牛栏组 ( $S_1s$ ) 为灰色钙质页岩与薄层生物灰岩、泥灰岩互层, 上部夹瘤状灰岩和生物礁灰岩, 区域上小河坝组与石牛栏组为同时异相沉积。中志留统下部韩家店组 ( $S_2h$ ) 主要由灰绿色页岩组成, 底部为 2~ 10m 紫红色泥岩, 上部夹薄层状粉砂岩、细砂岩, 因后期风化剥蚀, 残余厚度 20~ 450m 不等。志留系同下伏地层上奥陶统多为整合接触, 同上覆地层在大部分地区为与下二叠统呈平行不整合接触, 而在川东南等地则为同泥盆系平行不整合接触。

## 2 层序地层特征

在前人研究工作的基础上<sup>[12-15]</sup>, 通过对该区志留系野外实测剖面的详细研究, 将黔北—川东南志留系划分为 8 个三级层序 (图 2), 其中下志留统龙马溪组包括 2 个三级层序 (SSQ1~ SSQ2), 石牛栏组或小河坝组由 2 个三级层序 (SSQ3~ SSQ4) 构成, 中下志留统韩家店组发育 4 个三级层序 (SSQ5~ SSQ8), 但

是多数地区发育不全。

### 2.1 龙马溪期层序特征

包括 SSQ1~ SSQ2 层序, 总体为基底坡度较缓的海湾—滨浅海陆源碎屑环境, 水体相对局限, 早期为强还原环境, 富含  $Fe^{2+}$  及炭质, 笔石相生物分异度较低, 晚期随着海侵加大, 水体循环性、含氧量、笔石相带分异度逐渐增加, 沉积物的钙质含量不断增加, 岩层厚度加大。沉积物除古陆边缘滨岸区外, 主要受物源供给的影响, 因此, 横向层序格架变化很小, 体系域表现为加积—弱进积准层序特点, 仅在滨岸—泥质浅水陆棚区, SSQ1 的 HST 表现较强烈的进积准层序特点, 但作用时期相对较短。

SSQ1 层序相当于龙马溪组下部地层, 层序的底界面表现为  $\oplus$  型岩性岩相转换面。界面之上的 TST 主要由一套内陆棚相的黑色页岩、泥质粉砂岩沉积, 底部为黑色炭质页岩, 整体组成加积序列, 厚度向古陆或古隆起方向减薄、尖灭; HST 则主要为内陆棚—滨岸相的灰黑色泥质粉砂岩、黄绿色中—厚层细砂岩构成的向上变浅、加粗的加积—进积沉积序列。

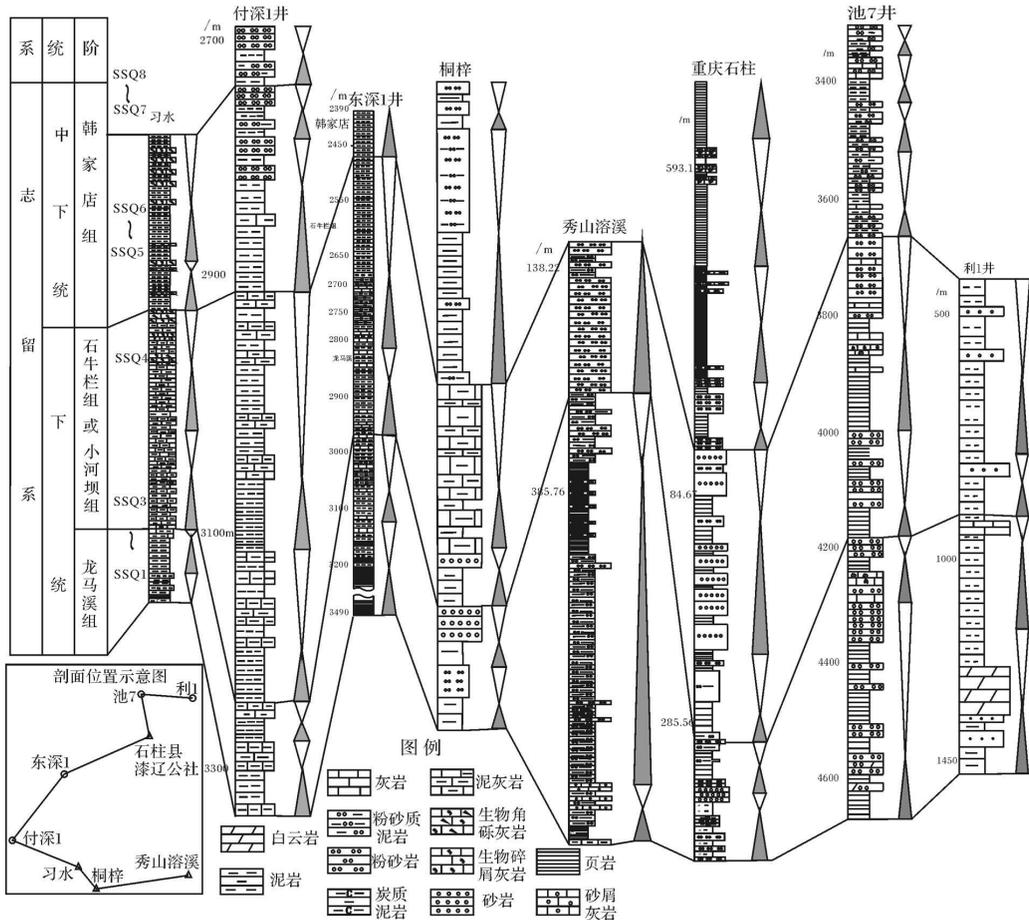


图 2 黔北—川东南志留系层序地层格架

SSQ2层序相当于龙马溪组上部地层, 层序底界面为①型岩性岩相转换面。TST由灰黑色泥页岩、泥岩及粉砂质泥岩组成; CS段为黄绿色页岩组成; HST由碎屑陆棚相过渡带亚相的黄绿色页岩偶夹薄层泥质粉砂岩、泥灰岩组成, 总体表现为向上变浅的加积沉积序列。

## 2.2 石牛栏期或小河坝期层序特征

包括 SSQ3~SSQ4层序, 主要为缓坡陆棚基础上发育起来的碳酸盐台地沉积。表现为弱退积—加积、弱进积准层序优势组合特征, 层序格架横向变化相对较大, 从碎屑滨岸→局限台地→开阔台地→生物礁/滩→台地边缘斜坡→浅水陆棚浅滩→泥质浅水陆棚→深水陆棚; 垂向上, 由泥/灰质深水→浅水陆棚→碳酸盐台地。

SSQ3层序海浸体系域总体上表现为进积—加积的层序特征。在长宁构造—习水土河坝一带的混积浅水陆棚区, 为加积型薄—条带状或扁豆状泥灰岩/灰泥岩韵律沉积或泥页岩夹粉砂岩沉积; 在重庆—万县一线以东 TST由滨岸相的黄灰色泥质粉砂岩、青灰色页岩组成; CS段为页岩。在广大的泥质深水陆棚区, 表现为加积型泥页岩沉积; 在混积深水陆棚区, 夹含生物泥灰岩薄层。

高水位体系域(HST), 南部为碳酸盐台地—混积台地, 中部为混积浅水陆棚, 北部为混积深水陆棚, 东南部为浅水砂质陆棚, 总体表现为进积—加积的准层序特点。在碳酸盐台地内部, 为浅水灰质陆棚—开阔台地沉积夹生物礁—浅滩组合, 受陆源物供给影响, 常在台地内部形成混积台地, 为生物浅滩—砂坝或三角洲前缘砂韵律组合, 或含砂质生物滩组合; 在台地边缘常为台地生物礁—滩与开阔台地或斜坡沉积组合。在浅水混积陆棚区, 多为混积浅水陆棚夹浅滩组合, 由浅滩生物泥灰岩、砂质灰岩夹泥页岩沉积组成; 在深水混积陆棚区则为泥页岩夹含生物介壳泥灰岩及粉砂岩沉积组合。在川东南等地 HST由陆棚—过渡带亚相的灰—浅灰色粉砂质页岩、夹薄层粉砂岩组成, 整体上表现为向上变浅的加积沉积序列。

SSQ4层序发育于陆棚浅滩和台地背景, 海浸体系域表现为退积—加积型准层序的特点。川南—黔北为浅水灰质陆棚—开阔台地, 以泥质灰岩夹泥页岩沉积为主。在重庆—万县一线以东 TST由滨岸相青灰色中厚层细—中粒长石石英砂岩夹极薄层粉砂质页岩构成, 整体粒度向上变细, 构成海进砂坝序列即表现为向上水体加深的退积沉积序列;

高水位体系域(HST), 川南—黔北为开阔台地、台地边缘、混积浅水陆棚及浅滩沉积, 川东南为浅水砂质陆棚。开阔台地区则由开阔台地泥—微晶灰岩夹浅滩沉积组成, 如黔北的古蔺等地; 在台地边缘区, 则主要由生物礁或礁—滩及滩间沉积或台地前缘斜坡砾屑灰岩夹泥页岩组成, 如习水土河坝—叙永等地。在混积浅水陆棚区表现为泥质岩夹生物屑或介壳灰岩沉积, 如珙县狮子滩、长宁双河等, 在浅滩区则为浅滩生物屑灰岩、介壳灰岩夹滩间泥页岩沉积, 如付深1井等地。川东南等地 HST同样由滨岸相土黄色厚层中—粗粒砂岩与绿灰色厚层粉砂岩组成, 粒度向上变粗, 表现为向上变浅的加积—进积沉积序列。

## 2.3 韩家店期层序特征

包括 SSQ5~SSQ7或 SSQ8层序, 总体上为陆源碎屑三角洲—滨浅海沉积环境。早期(SSQ5)有一个相对较短的碳酸盐台地—过渡环境—三角洲的转换过渡时期, 为混积陆棚环境, 海侵期以泥质沉积物为主的混积陆棚, 高水位期以灰质(浅滩)为主的混积陆棚。体系域以加积、弱退积、弱进积准层序组合为特点, 层序横向变化较小, 其发育主要受陆源碎屑供给、海平面相对变化及沉降速率的影响。中期(SSQ6)以三角洲沉积组合发育为特征, 沉积主要受物源供给和容纳空间的影响, 在体系域沉积特征上, 表现为进积—加积及弱退积的准层序组合特点。晚期(SSQ7~SSQ8)以陆源碎屑滨浅海环境沉积为特征, 层序发育主要受物源供给、海平面相对变化及容纳空间的控制, 在沉积体系域上多表现为加积、弱退积、进积的准层序特点。

SSQ5层序: 该层序相当于中下志留统韩家店组下部地层, 层序底界面为①型岩性岩相转换面。TST由陆棚相的青灰色—灰绿色页岩夹薄层粉砂岩组成, 整体上表现为水体向上加深的退积沉积序列; CS段由页岩组成; HST由滨岸相的绿灰色中—厚层粉砂岩、黄绿色厚层泥质粉砂岩、黄绿色页岩组成, 表现为水体变浅的加积—进积沉积序列。

SSQ6层序: 该层序相当于中下志留统韩家店组中部地层, 层序底界面为①型冲刷侵蚀面。TST由混积陆棚—过渡带亚相的青灰—黄绿色页岩夹薄层泥质粉砂岩、灰黄色中—薄层中细粒砂岩组成, 整体上表现为水体加深的退积沉积序列; CS段由青灰—黄绿色页岩组成; HST由混积陆棚的黄绿色—青灰色页岩、黄绿色粉砂岩质页岩、生物碎屑泥灰岩组成, 顶部发育有生物滩, 整体上表现为向上变浅的加积—退积

沉积序列。

SSQ7层序: 该层序相当于中下志留统韩家店组中上部地层, 层序底界面为 ⊕型岩性岩相转换面。TST 由混积陆棚的黄绿色页岩夹灰绿色钙质页岩组成, 为一退积沉积序列; CS段也同样为黄绿色页岩夹灰绿色钙质页岩; HST 由混积陆棚的黄绿色页岩、黄灰色薄层—中层生物碎屑泥灰岩组成, 顶部见有生物碎屑滩, 表现为加积—进积的沉积序列。

SSQ8层序: 该层序相当于中下志留统韩家店组顶部地层, 层序底界面为 ⊕型岩性岩相转换面。受加里东构造运动的影响, 该层序发育不完整, 在黔北地区缺失, 而在川东南一些地区只发育了 TST, HST 被

剥蚀掉, 与上泥盆统水车坪组为平行不整合接触, TST 主要由混积陆棚的黄绿色页岩组成。

### 3 层序格架下的沉积体系特征

根据沉积学、古生物学、测井相和地震相的特征, 将区内志留系划分为两大沉积体系组、三类沉积(相)体系及若干个亚相单元(表 1和图 3)<sup>[16]</sup>。

#### 3.1 三角洲体系

主要发育于碎屑质、碳酸盐质和泥灰质混积的滨浅海或陆棚背景, 常与碳酸盐台地、灰质陆棚、泥质陆棚环境共生。岩性主要为细—粗粒砂岩夹泥灰质砂岩, 主要发育于韩家店期, 如 SSQ6高位体系域, 主要

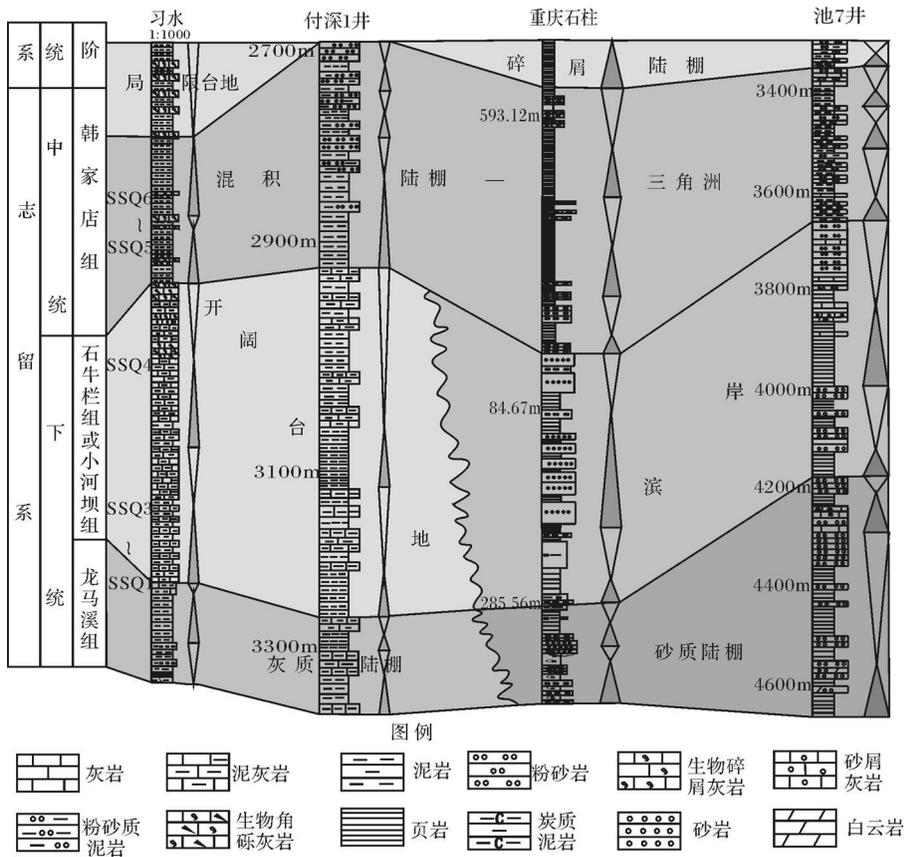


图 3 层序格架下的沉积体系展布特征

Fig 3 The distribution characteristics of depositional system in sequence stratigraphic framework

表 1 黔北—川东南地区志留系沉积体系划分

Table 1 Silurian depositional systems division of Northern Guizhou-Southeastern Sichuan

沉积体系组	沉积体系	主要沉积亚相	微相
过渡沉积体系组	三角洲沉积体系	三角洲前缘、前三角洲	分流间湾、分流水道、河口砂坝、远砂坝、席状沙
海相沉积体系组	陆棚	砂质陆棚、泥质陆棚	浅滩(灰质)、砂坝(砂质)及点滩、生物丘
	混积陆棚	深水陆棚、浅水陆棚	
	灰质陆棚	深水陆棚、浅水陆棚	
	碳酸盐台地	台地礁滩、开阔台地、局限台地、台地前缘斜坡	生物礁、生物滩、颗粒(鲕粒、核形石等)滩

分布于四川宜宾—阳深 2 井—贵州习水、温水—桐梓黑石溪一线以南地区。石牛栏期及龙马溪期也见有发育, 主要发育于筠连—威信以南 (SSQ4+TST、SSQ3、SSQ2-HST)、江津—綦江—南川小河坝一线以东地区 (SSQ3-HST)。可进一步划分出三角洲前缘和前三角洲亚相, 因该区志留系地层遭受剥蚀等原因三角洲平原亚相不发育。三角洲前缘亚相以韩家店组尤为典型, 在露头及钻井剖面上均有较好反映, 如桐 18 井、老深 1 井、付深 1 井的韩家店组。可进一步划分出分流水道、分流河口砂坝、远砂坝、席状砂及分流间湾等微相 (图 4); 前三角洲主要由泥页岩、含生物介壳泥页岩或含砂钙质泥页岩组成, 与泥质陆棚沉积过渡。二者主要根据相序变化及剖面结构相区别, 在该区表现为由多个前三角洲到三角洲前缘组成的进积旋回特点。

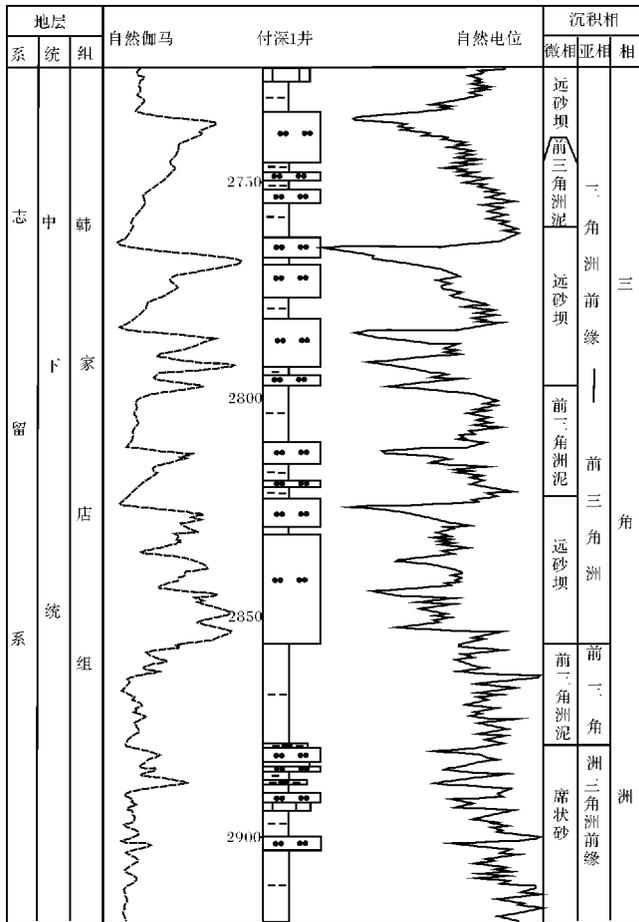


图 4 付深 1 井韩家店组三角洲沉积剖面结构  
 Fig 4 The profile structure of delta in Hanjiadian Formation in the Fu-shen Well 1

### 3 2 碳酸盐台地体系

主要发育于石牛栏期中晚期 (SSQ3-HST、SSQ4-

HST), 为一套生物灰岩、生物碎屑灰岩、含生物 / 生屑微—粉晶灰岩、白云质灰岩及灰质白云岩沉积。根据岩性、生物特征及剖面结构大致划分为台地礁 (滩)、开阔台地、局限台地和台缘斜坡 4 个亚相。

#### 3 2 1 台地礁 (滩)

以石牛栏期 SSQ4 层序的高水位体系域 (HST) 最为发育, 如长宁地区生物礁、生物碎屑滩、颗粒 (鲕粒、核形石、豆粒) 滩, 叙永田中、安基屯生物礁 (滩), 贵州习水土河坝—温水一带生物礁。此外, 上述地区 SSQ3 的高水位体系域亦见生物滩发育。碳酸盐台地礁 (滩) 是在陆棚的基础上发育起来的, 是陆棚浅滩化和台地化的结果, 常受潮汐和风暴浪的作用改造, 可见潮道沉积, 槽状、“人字形”等交错层理发育。生物礁可进一步分为台地边缘生物礁和台内点礁 (图 5)。典型的台地边缘生物礁见于习水土河坝剖面, 该类礁体横向上呈串珠状向东北延伸至温水一带, 经綦江观音桥到桐梓韩家店尖灭, 向西南与长宁生物礁 (滩) 相连, 至珙县狮子滩尖灭, 礁体厚可达 30 m。台地浅滩也可分为台地边缘浅滩及台内浅滩。按颗粒成分可分为生物滩和颗粒滩。常见的生物滩是介形、腕足、棘屑滩及混合滩, 颗粒滩以鲕粒滩、核形石滩为主。棘屑滩在台地区各层位均较发育, 单层厚一般 1 m 以下, 多为 0.3~0.5 m; 介壳滩主要发育于长宁地区, 如天堂坝的介壳 (腕足) 滩位于第 4 层序高水位体系域, 厚达 3~5 m, 腕足个体较大; 鲕粒、核形石滩主要发育于长宁及其东南地区, 如太 13 井、古宋袁家洞及麒麟剖面 SSQ4-HST 层位。

#### 3 2 2 开阔台地

开阔台地沉积主要见于 SSQ3、SSQ4 层序的 HST, 是在混积 (灰 / 泥) 和灰质陆棚基础上发育形成, 为薄—中厚层含生物屑微晶灰岩、生物屑灰岩。主要分布在高县—叙永—习水一线以南的广大地区 (图 8)。与陆棚泥灰岩的区别主要在于生物特征和剖面结构, 后者生物丰度较低、薄壳、壳饰发育, 化石保存状态较好, 普遍含泥, 反映的环境水体相对较深; 在剖面结构上, 开阔台地碳酸盐岩多与礁 (滩) 沉积交替出现, 灰质浅水陆棚含生物屑泥晶灰岩多位于混积深水陆棚泥灰岩、灰质泥岩韵律之上或泥质陆棚沉积之间。如在贵州习水良村镇发育的石牛栏组上段底部为深灰、灰色、浅灰色中厚层夹块状及薄层状泥晶灰岩, 含泥质灰岩, 亮晶生物屑灰岩、亮晶内碎屑灰岩及含泥质灰岩占量较多。发育水平层理及平行层理, 并见有低角度斜层理及小型交错层理, 属开阔台地至台

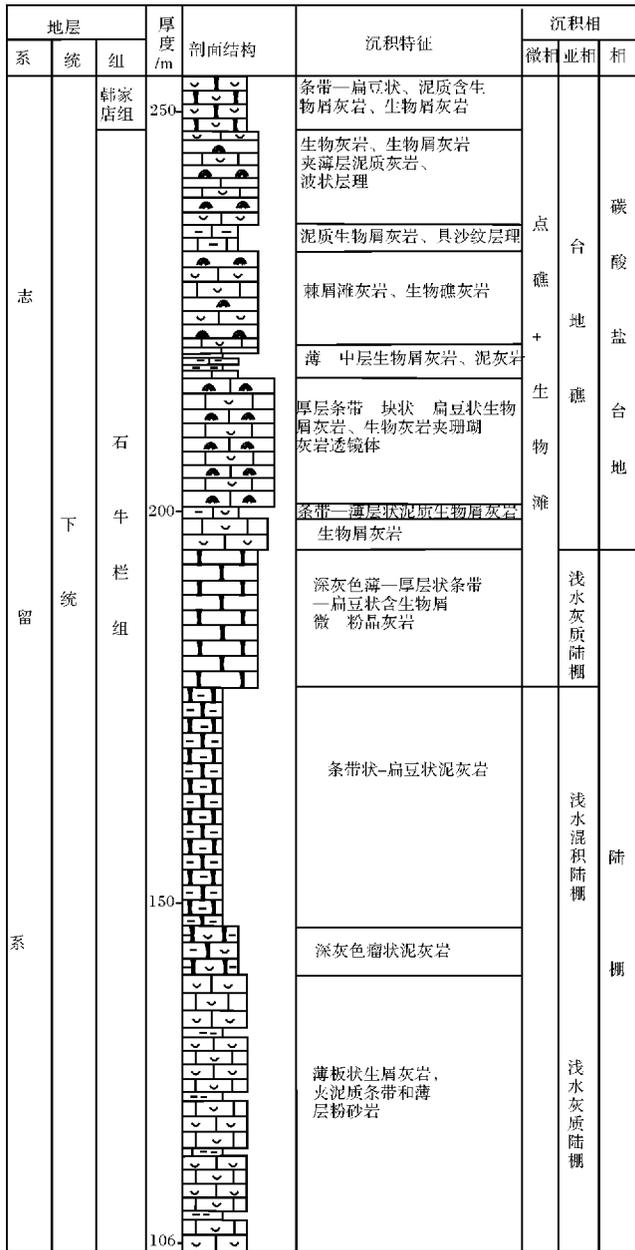


图 5 叙永志留系碳酸盐岩台地沉积剖面结构  
 Fig. 5 The profile structure of carbonate platform in the Xuyong of Silurian

地边缘相沉积 (图 6);

3.2.3 局限台地

局限台地仅分布在叙永安基屯、习水土河坝—温水一带,为藻纹层状白云质球粒泥晶灰岩、微晶灰质白云岩、鸟眼构造发育。局限台地多发育于 SSQ3 层序的 HST 晚期。台地靠陆侧常见白云石化,在深埋藏过程中,埋藏—调整白云石化作用进一步改造。

3.2.4 台地前缘斜坡

台地前缘斜坡沉积见于石牛栏期 SSQ3 和 SSQ4

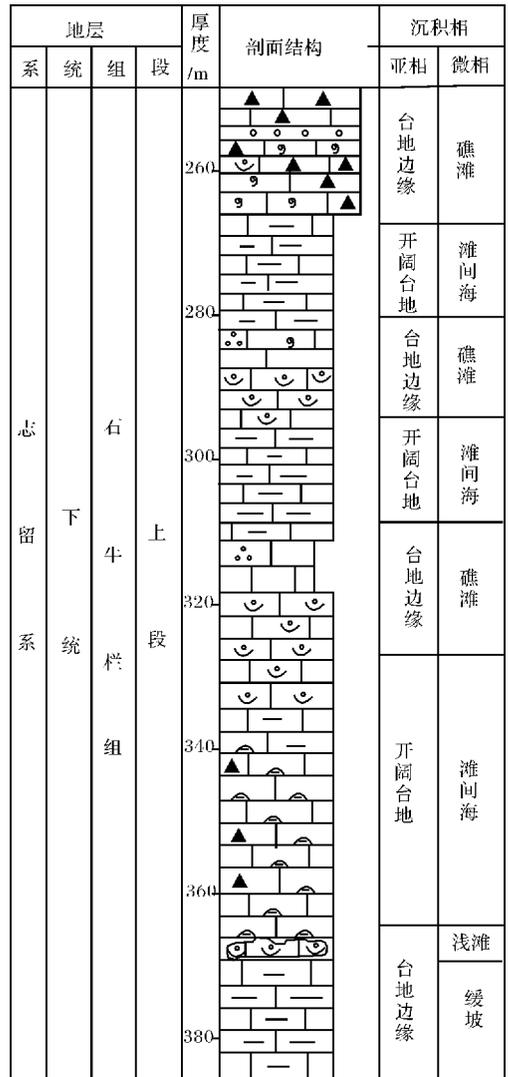


图 6 贵州习水县吼滩石牛栏组上段沉积剖面结构  
 Fig. 6 The sedimentary profile of upside Shinilian Formation in Houtan Xishu

层序高水位体系域 (HST) 等层位。其中以 SSQ4 相对典型。主要分布于高县—珙县—宫渡塘—观音桥—一线以南,古宋大垭口—古宋—习水—桐梓黑石溪—一线以北的狭长地带。为一套中—厚层生物 (礁滩) 砾屑灰岩、颗粒灰岩夹泥页岩沉积,在贵州习水良村镇发育的石牛栏组上段顶部为浅灰、灰白色厚层、块状夹亮晶砾屑灰岩、沥青质生物角砾灰岩、亮晶生物灰岩含沥青生屑灰岩,此段属台地边缘斜坡相沉积 (图 6)。

此外,在盆地近岸区,即研究区南缘叙永安基屯及东南缘一带尚见碳酸盐台地与陆源碎屑滨岸混合沉积,在层位上多位于石牛栏组 SSQ3 层序高水位体系域 (HST),为一套灰色中厚层棘屑灰岩或生物介壳

灰岩与中薄层石英砂岩、长石石英砂岩韵律组合。在紧邻海岸地区, 常有滨岸前滨、沙滩及三角洲前缘砂体发育。

### 3.3 陆棚体系

陆棚体系在黔北—川东南地区广泛发育, 根据沉积组合将陆棚体系划分为陆源碎屑陆棚体系、陆源碎屑—碳酸盐混积陆棚体系及灰质陆棚体系。陆源碎屑陆棚又可划分为砂质陆棚和泥质陆棚, 混积陆棚和灰质陆棚又可根据水体深、浅划分为浅水陆棚和深水陆棚。在浅水陆棚中进一步划分出浅滩(灰质)、砂坝(砂质)及点滩、生物丘。

#### 3.3.1 陆源碎屑陆棚

陆源碎屑陆棚是以陆源碎屑为主的陆棚沉积体系, 向海岸方向与滨海沉积体系相接, 有时在陆源碎屑陆棚体系上部发育与滨海沉积过渡相沉积。浅水砂质陆棚主要发育于小河坝期 SSQ3、SSQ4 层序高水位体系域(HST)及韩家店期 SSQ7、SSQ8 层序, 主要分布于川东南的南川小河坝一带, 主要为细粉砂岩、泥质粉砂岩夹泥岩沉积。砂质陆棚可识别出砂坝微相, 为薄—中薄层细砂岩夹泥岩沉积, 浪成砂纹层理发育, 粒度分布曲线反映沉积物分选好, 缺乏牵引总体。深水砂泥质陆棚主要分布在龙马溪期 SSQ1、SSQ2 层序高水位体系域(HST)太和场—江津—重庆东南及西北地区, 多为粉砂质泥页岩沉积。

泥质陆棚为本区最发育沉积体系之一, 常夹薄条带状泥晶灰岩或含生物泥灰岩。浅水泥质陆棚在相序上常与碳酸盐台地、浅水灰质陆棚、浅水混积陆棚等沉积共生, 在 SSQ6(TST)、SSQ4(TST)层序中广泛分布。深水泥质陆棚在研究区分布范围最为广泛, 为深灰色泥页岩夹薄—条带状泥灰岩(薄壳生物灰泥岩)沉积, 如研究区中北部广大地区的龙马溪期 SSQ1、SSQ2 层序高水位体系域(HST)、长宁构造以北广大地区的 SSQ3—TST 期、宫深 1 井—自深 1 井—东深 1 井—重庆以北的 SSQ4(HST)。

#### 3.3.2 混积陆棚

混积陆棚是表现为灰、泥、砂组分的混合沉积, 在相序上表现为灰泥、灰砂或灰泥/砂等不同比例组成的韵律沉积。浅水混积陆棚, 主要分布在长宁—南溪—桐 18 井—阳深 2 井—太 13 井一带(SSQ3、SSQ4 呈不规则环带状分布), 及叙永安基屯—桐梓下河坝一带(SSQ3-TST)。岩石组合有以下几种形式: ①浅水陆棚泥岩与浅滩生物屑灰岩(或薄层介壳灰岩、钙质细粉砂岩)呈韵律沉积; ②浅滩生物屑灰岩与砂坝

(钙质)石英砂岩呈韵律沉积; ③砂泥/灰质(为砂质含生物屑泥晶灰岩、粉砂质介壳泥灰岩与钙泥质粉砂岩、页岩)韵律沉积。

深水混积陆棚有两种类型: 一种是碳酸盐台地相带分布区的条带状—扁豆状—瘤状泥灰岩/灰质泥岩韵律沉积, 如石牛栏早期(SSQ3-TST), 为泥灰—灰/泥质混积陆棚沉积类型, 并以向上变浅的相序演化为特征; 另一种是灰黑色—灰绿色泥页岩夹薄—条带状泥灰岩韵律沉积, 沿宫深 1 井—自贡—内江一带及其以北分布, 如宫深 1 井、自深 1 井的石牛栏期沉积。

#### 3.3.3 灰质陆棚

浅水灰质陆棚主要发育于石牛栏期 SSQ3 层序高水位体系域(HST)、石牛栏期 SSQ4 层序海侵体系域(TST)及韩家店期 SSQ5 层序的高水位体系域(HST)。石牛栏期( $S_{1s}$ )多分布于长宁—长宁莲花寺—南溪—桐 18 井一带(呈向北西凸出的半弧环带状), 及东侧南川、坡渡周围。根据沉积物特点可进一步分为灰质浅滩和泥灰质沉积。浅水灰质陆棚更多地表现为灰色瘤状泥—微晶灰岩、中厚层状含生物屑微晶灰岩夹薄层钙质泥岩。此外, 也常表现为混积浅水陆棚中的灰质浅滩沉积, 为生物屑灰岩或生物屑灰岩夹泥页岩沉积(如桐 18 井, SSQ3-HST; 老深 1 井 2 820~2 920 m); 受东侧南川小河坝、东南桐梓三岔等三角洲发育的影响, 常含砂泥质。深水灰质陆棚在本区很少发育。

## 4 沉积体系平面展布特征

黔北—川东南地区早志留世龙马溪期继承了晚奥陶世末期的古地理面貌, 以沉积水循环受限的滞留陆棚—深水陆棚相的炭质页岩和黑色页岩为主(图 7)。近古隆起的边缘为浅水陆棚—三角洲前缘相沉积, 夹有薄层粉砂岩和泥质瘤状灰岩, 相带呈东西向展布。三角洲前缘相带分布于川东南的桐梓—武隆地区, 以细砂岩、粉砂岩及泥质岩及泥灰岩为特征。深水陆棚分布于川东南地区中北部, 发育典型的黑色泥页岩及少量泥灰岩沉积。沉积中心分布于东深 1 井—太 13 井一带, 沉积厚度大于 600 m, 在川南长宁—古蔺—綦江观音桥一带为灰泥质深水陆棚。

黔北—川东南地区早志留世石牛栏(或小河坝期): 此时期海平面下降导致盆地水体变浅, 沉积相带向北迁移, 陆源物质供给减少, 碳酸盐沉积增加, 南部地区陆棚演变为碳酸盐台地环境(图 8)。其中叙

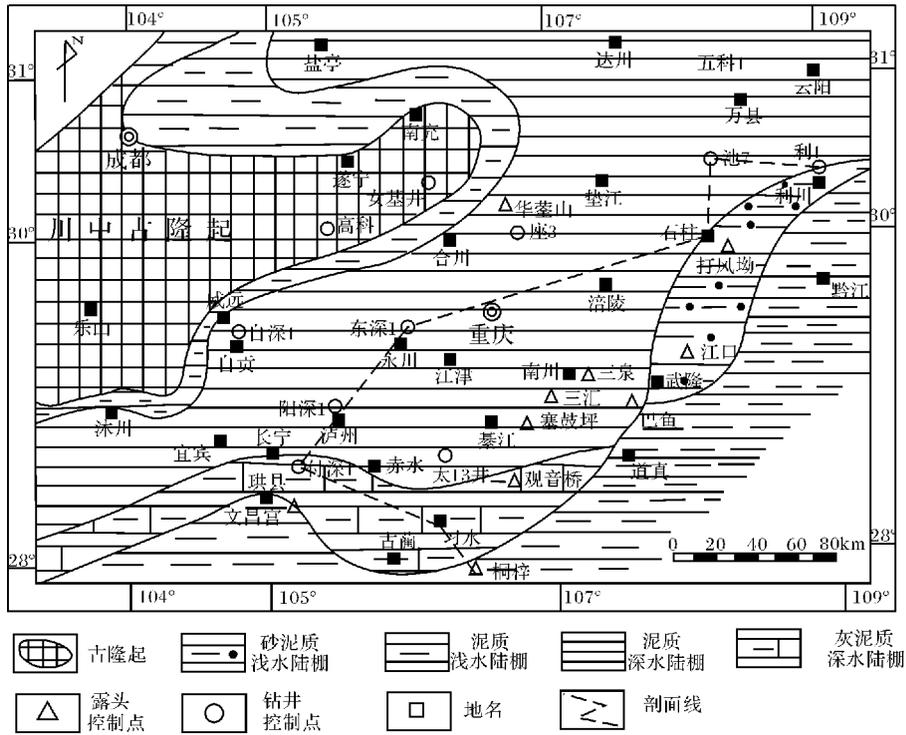


图 7 早志留世龙马溪期沉积体系平面展布 (据郭英海 修改, 2004)

Fig 7 The planar distribution of depositional system in the Longnaxi age of the Early Silurian (Modified from Guo Yinghai 2004)

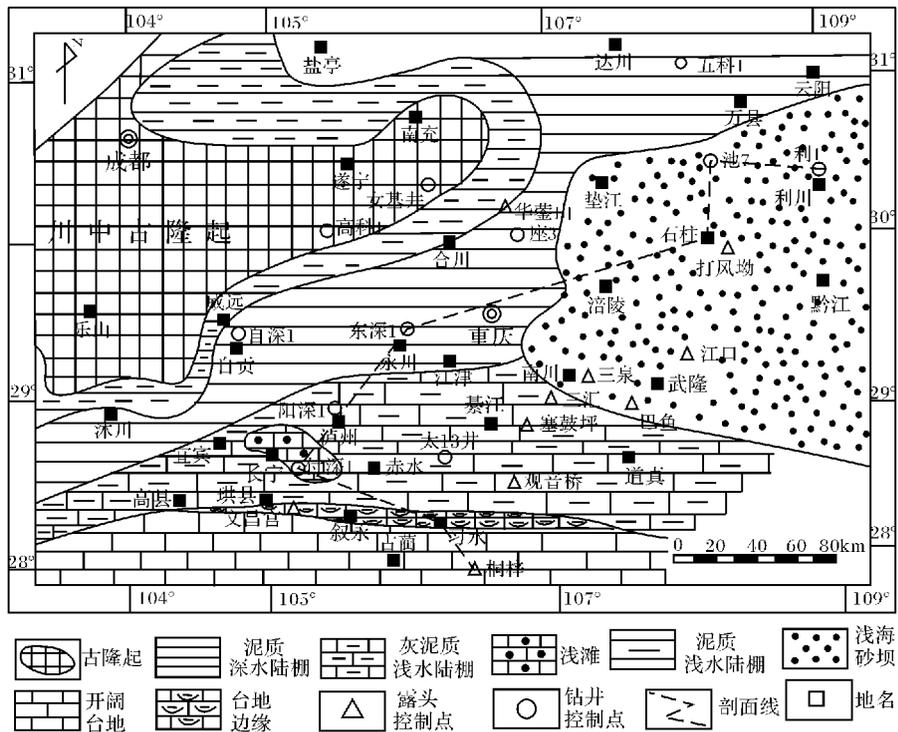


图 8 早志留世石牛栏 (或小河坝) 期沉积体系平面展布 (据郭英海 修改, 2004)

Fig 8 The planar distribution of depositional system in the Shiniulan (or Xiaheba) Age of the Early Silurian (Modified from Guo Yinghai 2004)

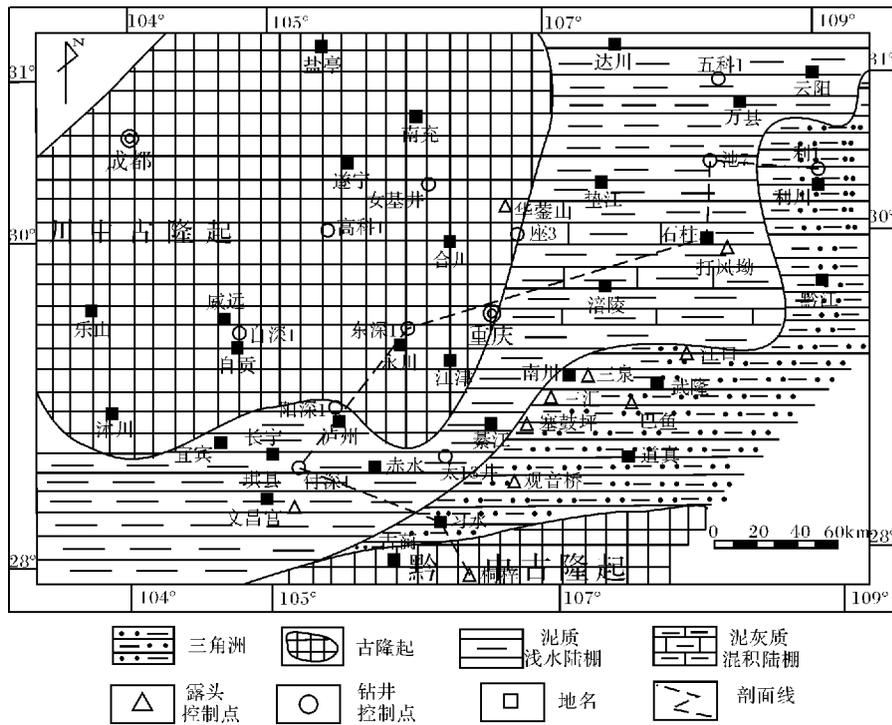


图 9 中志留世韩家店期沉积体系平面展布 (据郭英海 修改, 2004)

Fig 9 The planar distribution of depositional system in the Hanjiadian Age of the middle Silurian (Modified from Guo Yinghai 2004)

永安基屯—观音桥地区广泛发育碳酸盐开阔台地, 局部出现内碎屑浅滩和生物滩沉积, 厚度约 40 m, 向北沿叙永—桐梓下河坝一带为碳酸盐台地浅滩沉积, 厚度达 60~100 m, 叙永附近则大于 100 m, 台地边缘古宋—习水地区发育台缘斜坡, 由砾屑灰岩、生物屑灰岩、砂屑灰岩及微晶灰岩组成。高县—赤水—綦江一带大部分地区为混积浅水陆棚环境, 内部发育多个规模不等的浅滩。川东东北部地区为混积深水陆棚的灰泥质沉积, 在川东南重庆—万县以东的南川、长寿、涪陵、石柱地区发育三角洲前缘河口砂坝沉积, 即小河坝组砂岩。

黔北—川东南地区中志留世韩家店期由于受加里东运动的影响, 黔中古陆进一步抬升剥蚀, 导致陆源碎屑供给大大增加。海侵期, 由于海平面上升发生退积作用, 区内以砂泥质和泥质浅水陆棚沉积为主, 高水位期, 发生较强烈的进积作用, 于陆棚基础上发育分布广厚度大的三角洲前缘沉积。三角洲沉积广泛分布于南川—古蔺—利川一线以东南地区 (图 9)。由灰绿色页岩、粉砂质页岩与浅灰色泥质粉砂岩、石英粉砂岩及其互层组成, 偶夹生物碎屑泥灰岩。往西北至涪陵—石柱等地逐渐相变为前三角洲—混积浅

水陆棚和泥质浅水陆棚。该时期水深变浅, 深水陆棚和碳酸盐沉积不发育。

## 5 层序格架中储集层的预测

从总体上看, 研究区中、下志留统具备完整生、储、盖组合配置条件的独立含气系统, 其中烃源层由下部的五峰组与龙马溪组炭质页岩与黑色页岩组成, 储层由石牛栏组碳酸盐岩和小河坝组砂岩组成, 盖层由韩家店组粉砂质泥岩、泥页岩构成。储集层主要发育于三级层序 SSQ3 和 SSQ4 的高水位体系域。该时期由于海水由北而南海侵, 近古陆的叙永—古蔺—习水向东至綦江观音桥等地混积滨岸和碳酸盐台地相区, 以细砂岩和颗粒灰岩、生物灰岩、白云质灰岩和白云岩为主, 储层类型以裂缝孔隙型储层为主, 生物礁滩单层厚度大于 20 m, 连续厚达 60~130 m, 储集物性也相对较好; 混积陆棚和三角洲前缘相区以颗粒灰岩、礁相灰云岩和细—粉砂岩, 储层单层厚度相对较薄 (< 5 m), 但层次多、厚度大, 礁相灰云岩孔隙相对发育, 可形成孔隙型或裂缝孔隙型储层; 此外, 在混积陆棚相区和滞流盆地相区, 以泥页岩和粉砂岩、泥晶灰岩为主, 在断层及褶皱带形成裂缝型储层。在川东

南的南川、长寿、涪陵、石柱等地区的SSQ4高位体系域主要由砂质浅水陆棚灰色石英细砂岩、粉砂岩夹泥质粉砂岩、条带状泥质生物碎屑灰岩和三角洲相钙质砂岩组成,构成加积—退积型序列。储集岩主要为三角洲前缘砂体,厚10~60 m。

## 6 结论与认识

(1) 在单井及露头层序划分的基础上,分析了层序及体系域特征,将黔北—川东南地区志留系划分为8个三级层序,每个三级层序由海侵体系域和高位体系域组成,缺乏低位体系域和陆棚边缘体系域。在层序地层分析的基础上划分出两大沉积体系组:过渡沉积体系组和海相沉积体系组,进而划分为三类沉积体系:三角洲沉积体系、碳酸盐台地沉积体系、陆棚沉积体系以及若干个亚相类型,并在层序格架中分析了沉积体系演化特征及其平面展布。

(2) 黔北—川东南地区志留系有利储集相主要有两类:一类是台地浅滩相和台地前缘斜坡相发育礁滩型生物灰岩、颗粒灰岩储层,纵向上分布于石牛栏组中、上部,横向上分布于研究区南部叙永—习水一带;另一类为发育在重庆—万县一线以东的南川—桐梓—石柱—利川等地区的滨岸砂坝相为主的碎屑岩储集层,即小河坝组砂岩。此两类储集层其下由四川盆地重要烃源岩龙马溪组暗色泥岩组成,其上有巨厚的韩家店组砂质泥、页岩作为良好的盖层,具有良好的生储盖组合条件,应为勘探目标优选层位,有望为黔北—川东南下古生界油气资源的勘探工作打开新的局面。

## 参考文献 (References)

- 1 万方,许效松.川滇黔桂地区志留纪构造—岩相古地理[J].古地理学报,2003,5(2):180-186[Wan Fang Xu Xiaosong Tectonic-lithofacies paleogeography of the Silurian in Sichuan-Yunnan-Guizhou-Guangxi region [J]. Journal of Palaeogeography, 2003, 5(2): 180-186]
- 2 陈洪德,庞林,倪新锋,等.中上扬子地区海相油气勘探前景[J].石油实验地质,2007,29(1):13-18[Chen Hongde Pang Lin Ni Xin-feng et al. New brief remarks on hydrocarbon prospecting of marine strata in the Middle and Upper Yangtze Region [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2007, 29(1): 13-18]
- 3 许国明,王国司,石国山.黔中隆起及其南北斜坡区天然气勘探前景[J].贵州地质,2008,25(2):27-31[Xu Guoming Wang Guoshi Shi Guoshan. The natural gas exploration prospecting in Qianzhong protusion and its south and north slope area [J]. Guizhou Geology, 2008, 25(2): 27-31]
- 4 杨晓萍,张宝民,柳少波.四川盆地南部志留系碳酸盐灰泥丘成因

- 与储集性[J].海相油气地质,2002,7(4):26-32[Yang Xiaoping Zhang Baomin Liu Shaoba Origin and reservoir property of Silurian carbonate mud mound in Southern Sichuan Basin [J]. Marine Origin Petroleum Geology, 2002, 7(4): 26-32]
- 5 宋文海.川东南下志留统小河坝砂岩含气地质条件论述——一个未来的勘探区块[J].天然气勘探与开发,1998,21(2):1-5[Song Wenhai The exposition about Early Silurian sandstone of Xiaohaba contain gas geological conditions a future exploration blocks Southeastern Sichuan, China [J]. Natural Gas Exploration and Development, 1998, 21(2): 1-5]
- 6 王根海.中国南方海相地层油气勘探现状及建议[J].石油学报,2000,21(5):1-6[Wang Genhai Petroleum exploration in the marine strata in the southern China—exploration situation and proposal [J]. Acta Petrolei Sinica, 2000, 21(5): 1-6]
- 7 张金川,聂海宽,徐波,等.四川盆地页岩气成藏地质条件[J].天然气工业,2008,28(2):152-156[Zhang Jinchuan Nie Haiquan Xu Bo et al. Geological condition of shale gas accumulation in Sichuan Basin [J]. Natural Gas Industry, 2008, 28(2): 152-156]
- 8 李天生.四川盆地志留系生油层主要地质特征[J].矿物岩石,1991,11(3):80-86[Li Tiansheng The principal geological feature of oil-forming formation in Sichuan Basin [J]. Mineralogy and Petrology, 1991, 11(3): 80-86]
- 9 张廷山,陈晓慧,兰光志,等.川东南地区志留纪稀土元素分布及其地质意义[J].西南石油学院学报,1998,20(3):26-30[Zhang Ting-shan Chen Xiaohui Lan Guangzhi et al. Distribution and geological significance of REE in the Silurian of Southeast Sichuan [J]. Journal of Southwest Petroleum Institute, 1998, 20(3): 26-30]
- 10 李双建,肖开华,沃玉进,等.湘西、黔北地区志留系稀土元素地球化学特征及其地质意义[J].现代地质,2008,22(2):273-280[Li Shuangjian Xiao Kaihua Wo Yujin et al. REE geochemical characteristics and their geological significance in Silurian, West of Hunan Province and North of Guizhou Province [J]. Geoscience, 2008, 22(2): 273-280]
- 11 王齐政.川东南武隆早志留世的三叶虫[J].河北地质学院学报,1989,12(4):422-440[Wang Qizheng Early Silurian trilobites from Wulong Southeastern Sichuan, China [J]. Journal of Hebei College of Geology, 1989, 12(4): 422-440]
- 12 陈建强,李志明,龚淑云,等.上扬子区志留纪层序地层特征[J].沉积学报,1998,16(3):58-65[Chen Jianqiang Li Zhiming Gong Shuyun et al. Silurian sequence stratigraphy of Upper Yangtze region, China [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1998, 16(3): 58-65]
- 13 李志明,龚淑云,陈建强,等.中国南方奥陶—志留纪沉积层序与构造运动的关系[J].地球科学,1997,22(5):526-530[Li Zhiming Gong Shuyun, Chen Jianqiang et al. Ordovician-Silurian depositional sequences and their relations with tectonic movement in South China [J]. Earth Science—Journal of China University of Geosciences, 1997, 22(5): 526-530]
- 14 张丛,聂瑞贞.黔北地区志留系层序地层格架与油气勘探前期分析[J].新疆地质,2006,24(2):161-164[Zhang Cong Nie Ruizhen Silurian sequence stratigraphic framework and the pre-analysis of petroleum exploration in Northern Guizhou Province [J]. Xin-

- jiang Geology, 2006, 24(2): 161-164]
- 15 张林, 魏国齐, 郭英海, 等. 四川盆地志留世层序地层及有利储集层分布 [J]. 天然气工业, 2005, 25(5): 6-8 [ Zhang Lin, Wei Guoqi, Guo Yinghai *et al*. Favorable reservoir distribution in Sichuan Basin [J]. Natural Gas Industry, 2005, 25(5): 6-8]
- 16 马东洲, 陈洪德, 朱利东, 等. 川南下志留统石牛栏组沉积体系与岩相古地理 [J]. 成都理工大学学报: 自然科学版, 2006, 33(3): 228-232 [Ma Dongzhou, Chen Hongde, Zhu Lidong *et al*. Depositional system and lithofacies and paleogeography of the Silurian Shiniulan Formation in the southern Sichuan Basin, China [J]. Journal of Chengdu University of Technology: Science & Technology Edition, 2006, 33(3): 228-232]
- 17 郭英海, 李壮福, 李大华, 等. 四川地区早志留世岩相古地理 [J]. 古地理学报, 2004, 6(1): 21-29 [Guo Yinghai, Li Zhuangfu, Li Dahua *et al*. Lithofacies paleogeography of the Early Silurian in Sichuan area [J]. Journal of Paleogeography, 2004, 6(1): 21-29]

## Depositional System Evolution Characteristics in the Framework of Sequences of Silurian and Prediction of Favorable Zones in the Northern Guizhou-Southeastern Sichuan

ZHU Zhijun<sup>1, 2</sup> CHEN Hongde<sup>1</sup> LIN Liangbiao<sup>1</sup> HOU Mingcai<sup>1</sup>  
CHEN Anqing<sup>1</sup> ZHONG Yijiang<sup>1</sup>

(1. State Key Laboratory of Oil and Gas Reservoir Geology and Exploitation (Chengdu University of Technology) Chengdu 610059

2. College of Geosciences and Measurement Engineering, East China Institute of Technology, Fuzhou, Jiangxi 344000)

**Abstract** Because of uplifting by Caledonian movement, most of the Silurian had been denuded and only its middle and lower series remained in the Northern Guizhou-Southeastern Sichuan. On the basis of the comprehensive study cores and log wells and outcrops, 8 sequences and 2 system tracts were divided by use of sequence stratigraphic method, there are two sequences (SSQ1~SSQ2) in Longmaxi Formation of the Lower Silurian, one sequence (SSQ3~SSQ4) in Xiaohaba Formation, four sequences (SSQ5~SSQ8) in middle-lower Silurian Hanjiaodian Formation. 3 depositional systems of delta, coastal and shelf were developed to explore the characteristics of the depositional systems and their planar distribution in isochronous stratigraphic framework. One is reef flat biolithite and granule limestone developed in the platform shallow facies and platform foreslope facies, mainly in highstand systematic tract of the third sequence SSQ3 and SSQ4 in the Shiniulan Age. The vertical distribution is in the middle and upper of the Shiniulan formation, and horizontal distribution in Xuyong-Xishui-Guanyinqiao in the southern of the study area. The other is shallow continental shelf clastic reservoir, mainly developed in highstand systems tract of the third sequence SSQ4 in the Xiaohaba Age, laterally distributed in Nanchuan-Shizhu-Lichuan and other places.

**Key words** Northern Guizhou-Southeastern Sichuan; Silurian; sequence stratigraphy; depositional system; highstand systematic tract