

上扬子区志留纪层序地层特征^①

陈建强¹ 李志明² 龚淑云² 李全国² 苏文博²

1 (中国地质大学地质矿产系 北京 100083) 2 (中国地质大学地球科学学院 武汉 430074)

提 要 在稳定的上扬子地区,对志留系(439~409 Ma)进行了露头层序地层研究,建立了 2 个二级层序(不完整)和 9 个三级层序(OS1~OS9),每个三级层序的时限约 3.3 Ma, OS1 由龙马溪组和香树园组构成。雷家屯组包括 2 个三级层序。OS4 由马脚冲组和溶溪组构成。秀山组和回星哨组构成 OS5 和 OS6 层序。OS7 位于关底组下部。由关底组上部 and 妙高组下部组成 OS8。OS9 由妙高组上部和玉龙寺组构成。OS1 和 OS7 为 I 型层序,其余为 II 型层序。三级层序均发育 TST 和 HST,而缺乏 LST 和 SMST。层序的发育与全球海平面变化有密切关系。加里东运动造成的扬子地台持续上升及差异升降对二级层序的组成具有明显的影响。

关键词 层序地层 海平面变化 志留纪 上扬子区 中国

第一作者简介 陈建强 男 40 岁 副教授(硕士) 古生物学及地层学 沉积古地理学

层序地层学是当今地质学研究的热点之一,是进行盆地分析的一种重要研究手段,也是寻找沉积矿产的一种有效方法。依靠地震地层学方法,对全球海平面变化史和整个大陆边缘构造沉降史,进行较长周期的层序地层学研究的成果较多^[1-3],而露头层序地层学研究还较薄弱。实践证明,在构造稳定的大陆内部开展这类研究,是非常理想的场所^[4]。

本文选择上扬子地区志留纪地层开展层序地层研究。其中,下志留统以贵州东北部为主要研究区,从黔中古陆北缘向北详细测制了 6 条剖面(图 1),它们构成南北向二维层序地层廓带剖面。中、上志留统主要依据作者几年前在云南东部曲靖地区进行的观测,并参照了已有的研究成果。

研究区(图 1)属稳定地台区和陆表海克拉通盆地。其南侧为黔中古陆,东侧为江南古陆。志留纪地层出露良好。岩石地层^[5]、生物地层^[6-8]、年代地层^[9-14]、生态地层和沉积古地理及海平面变化^[7,8,15-19]的研究已有系统成果,层序地层的研究也已有良好的开端^[20-22]。前人的成果为本文的研究奠定了良好的基础。

1 岩石地层单位划分对比关系的厘定

研究区属凯里—三都、桐梓—遵义和印江—石阡 3 个地层层区。前人分别建有不同的岩石地层系统^[5,12-14]。根据层序地层的研究,现提出划分对比厘定方案(表 1):① 使用石牛栏群和韩家店群,在桐梓—遵义分区,因岩性和岩相差异较小,“群”内可分为“段”,在石阡—印江和凯里—三都分区,岩性和岩相差异显著,石牛栏群可划分为香树园组和雷家屯组,韩家店群可划分为马脚冲组、溶溪组、秀山组和回星哨组;② 使用香树园组,废弃原黔北和川南地区的松砍组和桥

沟组,保留川东南秀山一带的小河坝组。

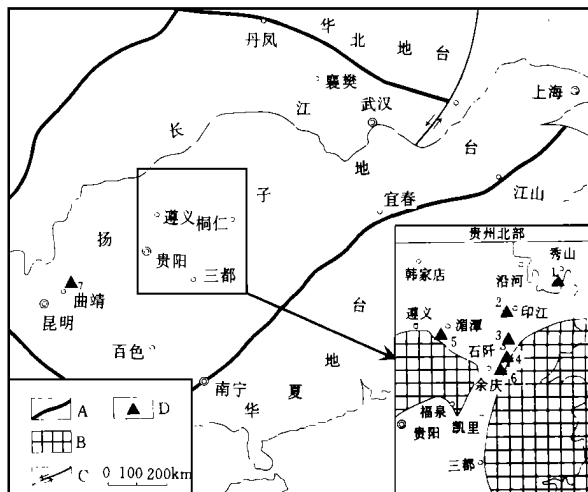


图 1 研究区剖面位置和构造背景

- A 地块界线; B. 古陆; C. 平移断层; D. 剖面位置
- 1. 秀山溶溪; 2. 印江合水; 3. 石阡雷家屯; 4. 石阡本庄;
- 5. 湄潭兴隆场; 6. 余庆苏羊; 7. 曲靖

Fig. 1 The Position of the study sections and their tectonic setting

2 上扬子区志留纪层序地层解释

通过对层序、体系域、各类界面的识别和对地层堆叠方式与结构转换等层序分析,将区内志留纪(439~409 Ma)划分为 2 个二级层序(不完整)(Mesosequence,缩写为 MS)和 9 个三级层序(Orthosequence,缩写为 OS,OS1~OS9 分别

① 本文为国家基础性研究重大项目“中国古大陆及其边缘层序地层和海平面变化研究”成果
收稿日期: 1997-05-10 收修改稿日期: 1997-09-18

代表第一至第九层序), 每个三级层序的时限约 3.3 Ma, OS1由龙马溪组和香树园组构成。雷家屯组包括 2个三级层序。OS4由马脚冲组和溶溪组构成。秀山组和回星哨组构成 OS5和 OS6层序。OS7位于关底组下部, 由关底组上部和妙高组下部组成 OS8, OS9由妙高组上部和玉龙寺组构成。OS1和 OS7的底界为 I 型层序界面 (Type I sequence boundary, 缩写为 SB₁), 属于 I 型层序, 其余层序底界为 II 型层序界面 (Type II sequence boundary, 缩写为 SB₂), 为 II 型层序。三级层序均发育海侵体系域 (Transgressive system tract, 缩写为 TST) 和高水位体系域 (Highstand system tract, 缩写为 HST), 而缺乏低水位体系域 (Lowstand system tract, 缩写为 LST) 和陆棚边缘体系域 (Shelf margin system tract, 缩写为 SMST), 凝缩段 (Condensed section, 缩写为 cs) 发育不明显。

2.1 贵州东北部下志留统 OS1- OS3层序地层解释 (图 2)

OS1为 I 型层序, 其底界 SB₁ 面, 由 TST(龙马溪组) 和 HST(香树园组) 构成 (Rhuddania-Aeronian 阶, 439~ 433 Ma)。在桐梓韩家店地区, 志留系下部发育最为完整, 龙马溪组底部含 *Glyptograptus persculptus* 带地层与下伏上奥陶统五峰组观音桥层呈整合接触。在溶溪和合水, 龙马溪组底部层位所含笔石组合相当于 *Glyptograptus persculptus* 带-*Orthograptus veisiculosus* 带, 与下伏观音桥层整合接触。其底界由北向南 (古陆方向) 逐渐升高的上超变化, 至石阡雷家屯龙马溪组底界相当于 *Akidograptus acuminatus* 带, 在石阡本庄龙马溪组完全缺失, 从 OS1 的 HST(香树园组) 开始发育, 即其底界为最大海泛面 (Maximum flood surface, 缩写为

mf_s)。在余庆从 OS2(雷家屯组) 开始发育, 缺 OS1 该 SB₁ 面之下的地层 (表 1), 在溶溪、合水和雷家屯是龙马溪组与观音桥层接触, 本庄为香树园组与宝塔组接触, 兴隆场为香树园组与牯牛潭组接触, 苏羊为雷家屯组与大湾组接触, 总体呈现下伏奥陶系剥蚀量从北向黔中古陆方向加强的趋势。

该层序 TST(龙马溪组) 沉积上部为远滨环境, 下部为含笔石的黑色炭质页岩或灰绿色粉砂质页岩, 上部多为灰绿色页岩、钙质页岩。自下而上钙质增多, 为加积-退积序列, 厚度从北向南依次减薄。HST(香树园组) 上部为远滨-近滨环境, 由碳酸盐岩与泥岩不等厚米级旋回 (2~ 4 m) 层组成, 下部为泥岩或钙质泥岩。上部为瘤状泥灰岩或生物碎屑灰岩。总体水深较大, 夹有间歇性风暴作用形成的壳滩风暴岩。北部厚度大, 陆源碎屑含量高, 向南减薄, 碳酸盐含量增高, 在四川秀山溶溪, 小河坝组以碎屑岩为主, 夹几套钙质泥岩或泥质灰岩, 通过层序界面追索, 可与碳酸盐岩相区的香树园组和雷家屯组对比 (图 2)。

OS2位于雷家屯组下部 (Telychian 阶下部) (图 2)。为 II 型层序, 其底界 (SB₂) 面为一明显的海侵冲刷面, 界面之上为一层 50 cm 厚海百合茎亮晶灰岩 (可能属 SMST 性质), TST 以上部远滨黄绿色页岩为标志, 余庆苏羊 TST 由薄层泥晶灰岩组成。HST 由礁滩-近滨瘤状灰岩、生物碎屑灰岩和钙质页岩组成。从北向南钙质成分增多, 页岩减少及厚度减薄 (TST: 5~ 30 m, HST: 10~ 60 m) 在碎屑岩较发育的溶溪, HST 为钙质泥岩。在雷家屯发育小型珊瑚礁体 (属点礁), 为中厚层灰岩及珊瑚礁灰岩、层孔虫礁灰岩及礁前塌积的生物砾块灰岩组合。

表 1 贵州东北部和四川东南部志留系岩石地层单位划分与对比

Table 1 Subdivision and correlation of rock-stratigraphic unit in Guichou and Sichuan, China

地区 地层	秀山溶溪		印江合水		石阡雷家屯		石阡本庄		湄潭兴隆场		余庆苏羊	
	韩家店群	回星哨组 秀山组 溶溪组 马脚冲组	韩家店群	回星哨组 秀山组 溶溪组 马脚冲组	韩家店群	回星哨组 秀山组 溶溪组 马脚冲组	韩家店群	秀山组 溶溪组 马脚冲组	韩家店群	溶溪组 马脚冲组	韩家店群	秀山组 溶溪组 马脚冲组
志留系	小河坝组		石牛栏群	雷家屯组 香树园组	石牛栏群	雷家屯组 香树园组	石牛栏群	雷家屯组 香树园组	石牛栏群	雷家屯组 香树园组	石牛栏群	雷家屯组
	龙马溪组		龙马溪组	龙马溪组								
奥陶系	五峰组	观音桥层 五峰组	五峰组	观音桥层 五峰组	五峰组	观音桥层 五峰组						
	临湘组	临湘组	临湘组	临湘组								
	宝塔组	宝塔组	宝塔组	宝塔组	宝塔组							
	庙坡组	庙坡组	庙坡组	庙坡组	庙坡组							
	牯牛潭组	牯牛潭组	牯牛潭组	牯牛潭组	牯牛潭组	牯牛潭组						
	大湾组	大湾组	大湾组	大湾组	大湾组	大湾组						

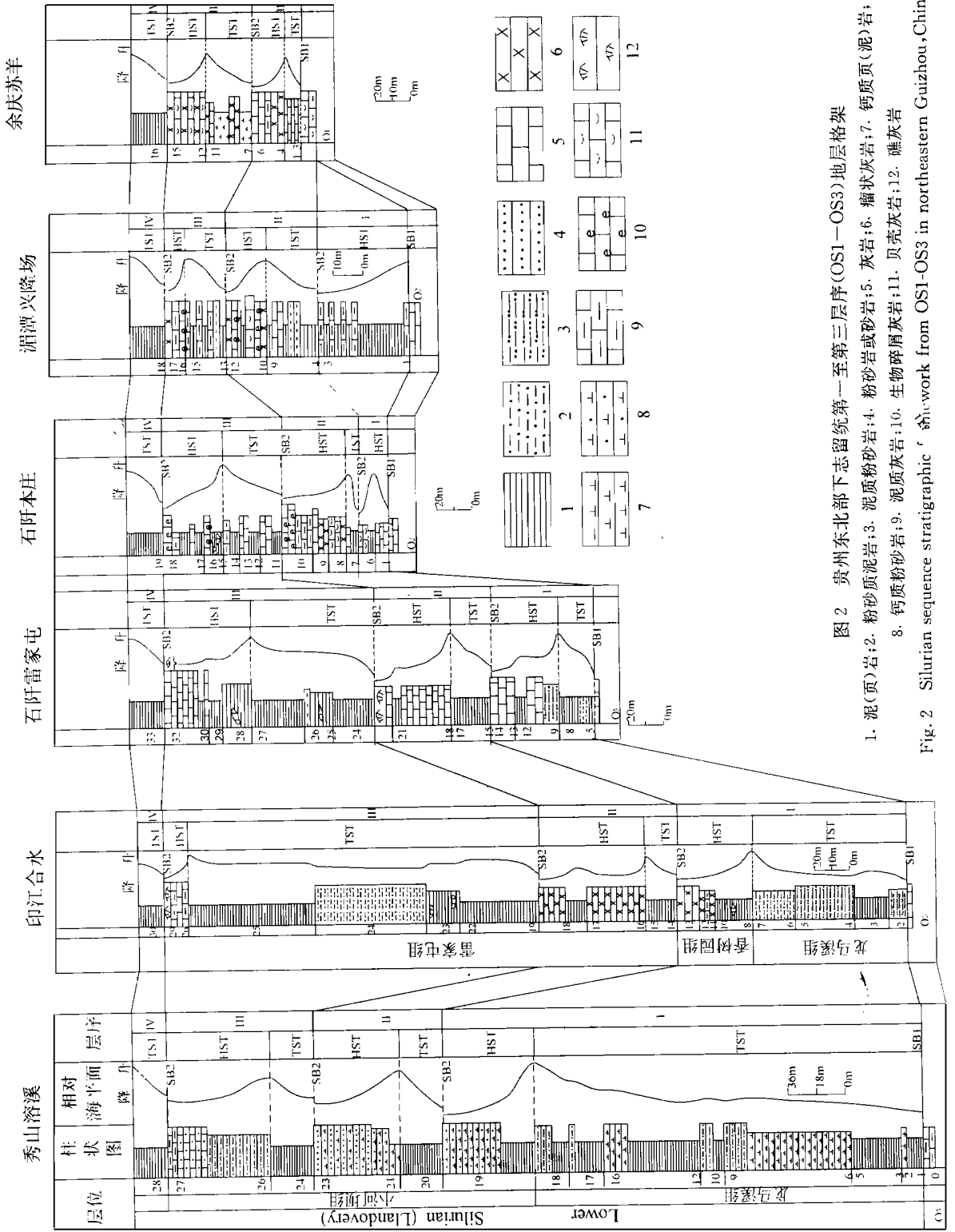


图 2 贵州东北部下志留统第一至第三层序(OS1—OS3)地层格架

1. 泥(页)岩; 2. 粉砂质泥岩; 3. 泥质粉砂岩; 4. 粉砂岩或砂岩; 5. 灰岩; 6. 瘤状灰岩; 7. 钙质页(泥)岩;

8. 钙质粉砂岩; 9. 泥质灰岩; 10. 生物碎屑灰岩; 11. 贝壳灰岩; 12. 礁灰岩

Fig. 2 Silurian sequence stratigraphic framework from OS1-OS3 in northeastern Guizhou, China

OS3位于雷家屯组的上部(Telychian阶中部)(图 2),由 TST(30~50 m)和 HST(7~65 m)组成。底界为岩性突变面或海侵冲刷面(SB)。在石阡雷家屯 TST底部为一层厚 2.9 m 海百合茎亮晶生物碎屑灰岩组成(可能属 SMST性质),

其上为快速加深形成的远滨黄绿色页岩。TST内由旋回性不明显的页岩与少量钙质页岩和生物碎屑灰岩透镜体组成。HST由礁滩—近滨生物碎屑亮晶灰岩、瘤状灰岩、钙质页岩组成。在溶溪以钙质页岩和泥质灰岩为特征,顶部发育苔藓

虫礁灰岩及鱼骨状交错层理、板状交错层理, 并见鸟眼构造和泥裂等浅水暴露构造。在石阡本庄、湄潭兴隆场和余庆苏羊 HST 均为生物碎屑灰岩、瘤状灰岩, 与 OS4 之间为岩性突变面及地层结构转换面 (SB₂)。

分析表明 (图 3), 氧碳同位素值均在层序界面处呈同步的负偏波动变化, 在层序内部曲线明显呈向上正偏走势, 可能反映出总体向上变浅的特点。与 OS2 相比, OS3 的氧碳同位素曲线相对偏负, 可能说明 OS3 较 OS2 总体水深度大一些。

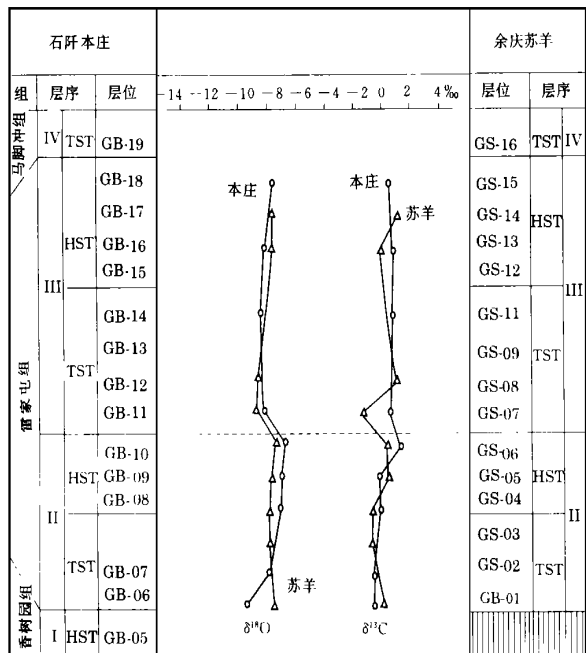


图 3 余庆苏羊和石阡本庄 OS2 和 OS3 层序碳氧同位素变化曲线图

Fig. 3 $\delta^{18}\text{O}$ and $\delta^{13}\text{C}$ curves of OS2 and OS3 in the Benzhuang and Suyang sections, Guizhou

对本庄和苏羊剖面 OS2 和 OS3 层序的氧碳稳定同位素

2.2 贵州东北部下、中志留统 OS4- OS6 层序地层解释 (图 4)

OS4 由 TST (马脚冲组) 和 HST (溶溪组) 组成 (Telychian 阶上部), 底界面为间断加深面 (SB₂)。横向上岩性变化不明显, 但厚度有明显变化。TST 由近滨黄绿色、灰绿色页岩组成, 岩性单一, 为旋回性不明显的加积序列, 北东 (200 m) 向黔中古陆方向厚度依次减薄 (10 m)。这与江南古陆不断提供丰富的碎屑物源有关。HST (溶溪组) 即下红层, 为前滨紫红色、黄绿色等杂色泥岩、粉砂质泥岩和泥质粉砂岩夹厚层细砂岩, 含较丰富的腕足类和双壳类化石, 发育浅水波痕和生物遗迹构造, 代表干旱和相对浅水的沉积环境。厚度由北东 (200 m) 向南和向西逐渐减薄 (100 m)。

OS5 为 II 型层序, 由秀山组下段组成, 其 TST 相当于秀山组下段下部 (Telychian 阶顶部 - Sheinwoodian 阶底部), 以前滨 - 近滨黄绿色、灰绿色页岩、泥岩为主, 由粉砂质泥岩和钙质泥岩、泥质灰岩组成不明显的旋回层, 北厚 (300 m) 南薄 (100 m)。兴隆场 OS4 沉积之后已隆升, 没有接受 OS5 的沉积。HST 相当于秀山组下段上部, 由近滨 - 前滨黄绿色、灰绿色泥岩与钙质粉砂岩及粉砂质泥岩组成, 为加积 - 进积序列, 区域上厚度一般小于 50 m, 由于当时东北部物源补给充分, 合水一带厚度达 120~185 m。湄潭兴隆场缺失秀山组及以上的地层, 表明盆地基底构造沉降与隆升差异明显。

OS6 为 II 型层序, 由 TST (秀山组上段) 和 HST (回星哨组) 构成。TST 以远滨黄绿色、灰绿色页岩夹少量透镜状生

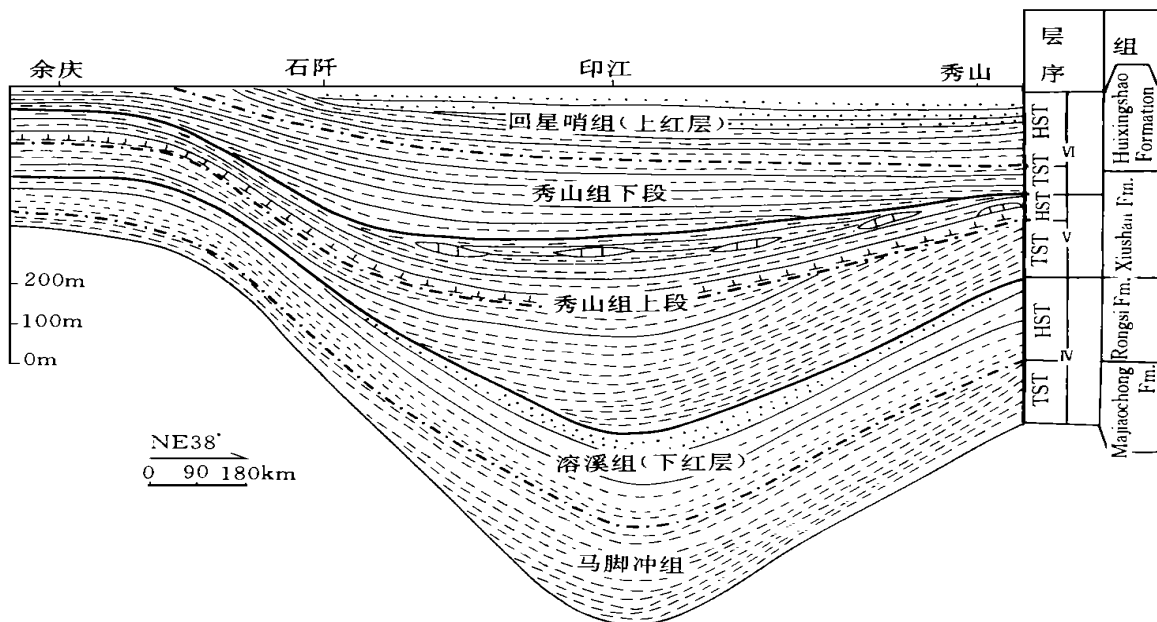


图 4 贵州东北部志留系 OS4- OS6 层序地层格架

Fig. 4 Silurian sequence stratigraphic framework from OS4- OS6 in northeastern Guizhou, China

物碎屑灰岩为特征,旋回性不明显,为加积-退积序列。厚度变化较大(100-300 m)。HST由一套近滨-前滨沉积碎屑岩序列组成,下部相当于上红层,由紫红色泥岩、粉砂质泥岩与灰绿色粉砂质泥岩和泥质粉砂岩组成,上部由潮道相粉砂-细粒石英砂岩及少量砂质泥岩组成不等厚旋回层。厚度从

合水和溶溪 170 m 向南至雷家屯一带减薄至 100 m,至本庄已完全缺失回星哨组。回星哨组上部砂岩多呈楔状体,交错层理发育,并与泥岩、粉砂岩组成多个 50~150 cm 厚的不等厚的旋回层。

表 2 上扬子区志留纪综合地层划分与对比

Table 2 Subdivision of Silurian sequence stratigraphy(OS1- OS9) in Upper Yangtze region and their correlation with other stratigraphic units

年代地层		生物地层	岩石地层		层序地层			沉积环境	
统	阶	笔石带和年龄 (Ma*)	组		界面	体系域	层序		
上志留统	PRIDGEMANIAN	409 <i>Transgredi-us</i> <i>Uncinatus</i>	玉龙寺组 Yulongsi Fm.	上部	mfs	HST	OS9	前滨	
				下部		TST		近滨	
		LAUFORDIAN	411 <i>Saetograptus</i>	妙高组 Miaogao Fm.	上部	SB ₂	HST	OS8	前滨
					下部		TST		近滨
		GORSTIAN	415 <i>Tumescens</i> <i>Nilssoni-colonus</i>	关底组 Guandi Fm.	上部	mfs	TST		
中志留统	WENLOCKIAN	424 <i>Lundgreni</i> <i>Ramosus</i>	关底组 Guandi Fm.	下部	SB ₂	HST	OS7	前滨	
					mfs	TST		近滨	
		SHEINWOODIAN	426 <i>Flexilis</i> <i>Riccatoensis</i>	[Stratigraphic correlation diagram with vertical lines]					
				回星哨组 Huixingshao Fm.		mfs	HST	OS6	前滨
					上部	TST	上部远滨		
下志留统	TELYCHIAN	430 <i>Grandis</i> <i>Spiralis</i>	秀山组 Xiushan Fm.	上段	SB ₂	HST	OS5	前滨	
				下部	mfs	TST		近滨	
		<i>Griestoniensis</i>	溶溪组 Rongxi Fm.		SB ₂	HST	OS4	前滨	
				马脚冲组 Majiaochong Fm.	mfs	TST		近滨	
		<i>Turiculatus</i>	雷家屯组 Leijiatun Fm.		SB ₂	HST	OS3	近滨	
					mfs	TST		礁滩	
					SB ₂	HST		上部远滨	
		FRONIAN	433 <i>sedgwickii</i>	香树园组 Xiangshuyuan Fm.		SB ₂	TST	OS2	近滨
	mfs				HST	上部远滨			
	SB ₂				TST				
IDWIAN	437 <i>Convolutus</i> <i>Gregarius</i>	龙马溪组 Longmaxi Fm.		mfs	HST	OS1	近滨		
				TST	上部远滨				
RHUDDANIAN	439 <i>Cyphus</i> <i>Vesiculosus</i> <i>Acuminatus</i> <i>Persculpatus</i>	龙马溪组 Longmaxi Fm.		SB ₁	TST				
上奥陶统	HIRNANTIAN	439 <i>Hirnantia</i> Fauna	五峰组 观音桥层 Guanyinqiao Bed			LHST		近滨	

* 界线年龄 (Ma)据 Harland W B, Armstrong R L, Cox A V, et al. Ageologic time scale, 1989. London: Cambridge University Press

2.3 云南东部曲靖中、上志留统 OS7- OS9 层序地层解释

曲靖地区志留系包括关底组、妙高组和玉龙寺组(时限 Wenlock 世 Homerian 期 - Pridoli 世), 下与寒武系双龙潭组平行不整合接触, 上与泥盆系连续沉积。根据综合研究, 并参照已有资料^[22], 将其划分为三个三级层序(OS7- OS9)。

OS7 为 I 型层序, 由关底组下部(Homerian 阶)组成。其底界 SB₁ 面上常见 0.5 m 厚的残积粘土层, 侧向追踪可见底砾岩和古岩溶角砾岩。TST 以近滨黄绿色、灰绿色页岩为主, 含较丰富的腕足类化石。HST 以前滨泥质灰泥岩夹泥页岩为特征, 含丰富的珊瑚(*Micula-Ketophyllum* 组合)和腕足类化石, 产 *Ozarkodina crispera* 牙形石。

OS8 由关底组上部和妙高组下部(Ludlow 统)组成, 为 II 型层序, 其底界 SB₁ 介于关底组下部与上部之间, 该界面为岩性突变面, TST 底部灰色中厚层细粒石英砂岩与其下伏 OS7- HST 顶部紫灰、灰绿色页岩接触, 界面上可见帐篷状构造和泥裂。该层序 TST 以近滨灰色、紫红色泥页岩和钙质页岩为特征。HST(妙高组下部)以前滨灰色薄层泥灰岩、白云质泥晶灰岩与黄绿色泥(页)岩为特征。

OS9 为 II 型层序, SB₂ 面介于妙高组下部与上部之间, 为岩性突变面, 界面处见滞留砾屑灰岩和帐篷状构造。妙高组上部和玉龙寺组下部组成 TST, 以近滨灰色瘤状泥质生物碎屑灰岩与泥(页)岩、粉砂岩为特征。侧向在马龙一带见礁灰岩及礁前塌积灰岩沉积。HST 由玉龙寺组上部地层构成, 以前滨灰色灰泥岩、瘤状灰岩与黄绿色泥页岩为主, 顶部出现少量白云质灰岩。上扬子区志留纪综合地层划分与对比见表 2。

3 上扬子区志留纪相对海平面变化及其国际对比

生态地层资料主要依据戎嘉余等^[15]、陈旭、戎嘉余^[17]的研究成果。区内 9 个三级层序和 1 个二级层序分别代表 9 个三级和 1 个二级海平面升降旋回。

晚奥陶世, 由于南极冰盖的凝聚, 全球海平面下降, 上扬子区的周缘处于海平面之上。盆地中心则发育属晚期高水位期的五峰组观音桥层沉积。OS1 的底界为一向黔中古陆方向海岸上超的 SB₁ 面。龙马溪组底部海侵开始, 笔石分异度低, 属浅水还原环境, 随后海平面上升, 笔石分异度递增。沉积记录也反映出从还原向氧化环境转变。海平面上升的顶峰在香树园组底部, 此时海域范围已扩展到本庄、兴隆场。香树园组中上部为总体向上变浅的高水位海平面下降过程。雷家屯组沉积初海平面上升, TST 阶段腕足底栖组合相当于 BA3, HST 阶段相当于 BA2, 与沉积记录所反映的海水总体向上变深, 达到最大海泛面后转为总体向上变浅海平面变化一致。OS3 的 TST 和 HST 腕足底栖组合分别为 BA3 和 BA2 沉积记录也反映为一个完整的海平面升降旋回。第二和第三海平面旋回的最大海泛期以含 *Pentamerus - Stricklandia* 组合为识别标志。OS4 的 TST 属 BA2 组合, 下红层属高水位

期沉积, 含分异度极底而个体数量丰富的双壳类, 相当于 BA1- 2, 反映海水总体向上变深后转为变浅海平面变化。OS5 属于底栖组合 BA2, 沉积记录反映为一个三级海平面变化旋回。代表 OS6 的秀山组上段为又一次海平面上升, 底栖组合相当于 BA3。HST 为海平面转向下降, 海域范围缩小, 粗碎屑物源不断增高, 底栖组合呈现从 BA3 → BA1 的变化。该层序顶界为平行不整合界面, 下二叠统覆于志留系不同层位之上。

贵州东北部早、中志留世处于内陆海(陆表海)环境, 地台基底持续上升, 周围古陆和水下隆起提供充足的碎屑物质, OS1- OS6 构成一个二级海平面旋回。其最大海泛期相当于香树园组沉积期。从溶溪组开始区域性差异抬升作用明显加剧, 根据韩家店群和湖北一带纱帽群厚度、岩性、沉积环境、古流向、古海岸方向等分析, 表明江南古陆为周围盆地供给了充足的碎屑物质, 另一主物源区是黔中古陆。因此, 具有双物源混合陆棚型沉积性质。

在世界范围内, Johnson, M. E. 等^[16]曾依据 Mckerrow^[23]的资料, 将北美东北部的克拉通陆架的下志留统的沉积环境与中国扬子陆架同期地层进行比较, 提出 Llandovery 统含 4 个全球性海进-海退事件。Ross 和 Ross^[24]概括志留纪海侵-海退旋回时基本与上述观点一致。其第 2 旋回相当于贵州北部第 2 和第 3 旋回, 其它 3 个旋回均可以对比。Breet 等^[25]对北美东部阿巴拉契亚前陆盆地志留系的研究, 提出 Llandovery 统至下 Wenlock 统划分为 4 个 3 级层序, 与贵州东北部比较, 除其第 3 旋回与贵州北部 OS4 一致外, 其余均有一定的差异。因此, 海平面旋回的国际对比有待今后的进一步研究和探讨。

4 主要结论

(1) 根据露头层序地层学的研究, 提出上扬子地区志留纪(439~409 Ma)划分为 9 个三级层序(OS1- OS9)的方案, 其中包括 2 个 I 型层序和 7 个 II 型层序, 每个三级层序的延续时限约 3.3 Ma。

(2) 综合层序地层和沉积环境分析, 并结合前生态地层学研究成果, 讨论了上扬子地区志留纪 9 个三级层序所对应的相对海平面变化特征, 并与北美志留纪海平面变化曲线作了对比。

参 考 文 献

- 1 Vail P R, Mitchum R M Jr, Thompson S III. Seismic stratigraphy and global changes of sea level, part 4 global cycles of relative changes of sea level. In Payton C E, ed. Seismic stratigraphy - applications to hydrocarbon exploration. AAPG Memoir, 1997, 26: 51-52.
- 2 Vail P R, Hardenbol J. Sea-level changes during the Tertiary. *Oceans*, 1979, 22: 71-79.
- 3 Hardenbol J, Vail P R, Ferrer J. Interpreting paleoenvironments, subsidence history, and sea level changes of passive mar-

- gins from seismic and biostratigraphy. *Oceanologica Acta*, 1981, 3(Supplement): 334- 344
- 4 Cisne J L, Gldner R F, Rabe B D. Epic sedimentation and sea level synthetic ecostratigraphy. *Lethaia*, 1984, 17: 267- 288
- 5 龚联瓌. 关于贵州北部和黔东南志留系岩石地层划分和统一问题. *贵州地质*, 1990, 7(4): 313- 323
- 6 陈建强, 何心一. 扬子区奥陶纪和志留纪四射珊瑚动物群及组合带. *地球科学, 中国地质大学学报*, 1997, 22(1): 15- 19
- 7 Wang Hongzhen and He Xinyi. Silurian rugose coral assemblages and palaeobiogeography of China. *Geol. Soc. Amer. Spec. Pap.*, 1981, 187: 55- 63
- 8 王鸿祯, 何心一. 中国志留纪四射珊瑚组合及生物古地理分区. *中国古生物地理区系*. 北京: 科学出版社, 1983. 32- 42
- 9 戎嘉余. 论我国志留系的建阶问题. *地层学杂志*, 1985, 9(2): 96 ~ 107
- 10 戎嘉余. 国际志留系研究的新进展. *地层学杂志*, 1986, 10(3): 238- 242
- 11 戎嘉余, 陈旭, 王成源等. 论华南志留系对比的若干问题. *地层学杂志*, 1990, 14(3): 161- 171
- 12 方润生, 江能人, 范健才等. 云南曲靖地区中志留世—早泥盆世地层及古生物. 昆明: 云南人民出版社, 1985. 1- 171
- 13 贵州省地质矿产局. 贵州省区域地质志. 北京: 地质出版社, 1987. 1- 454
- 14 中国科学院南京地质古生物研究所. 西南地区地层古生物手册. 北京: 科学出版社, 1974. 1- 454
- 15 戎嘉余, 马科斯, 约翰逊, 杨学长. 上扬子区早志留世(兰多维尔世)的海平面变化. *古生物学报*, 1984, 23(6): 672- 693
- 16 Johnson M E, Rong Jiayu, Yang Xuechang. International correlation by sea-level events in the Early Silurian of North America and China (Yangtze Platform). *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 1985, (96): 1 384- 1 397
- 17 陈旭, 戎嘉余. 亚洲东部的志留系. *现代地质*, 1988, 2(3): 328- 341
- 18 周名魁, 王汝植, 李志明等. 中国南方奥陶—志留纪岩相古地理与成矿作用. *中国南方岩相古地理系列丛书*. 北京: 地质出版社, 1993. 1- 111
- 19 梅冥相. 贵州南部志留纪沉积盆地分析. *贵州地质*, 1990, 7(4): 324- 332
- 20 Chen Jianqiang, Li Zhiming, Gong Shuyun, et al. Early Silurian sequence stratigraphy of north eastern Guizhou, China. 30th International Geological Congress (Beijing), Abstracts, 1996, 2(3): 32
- 21 陈建强, 何心一. 上扬子区下志留统四射珊瑚组合带与层序地层序列的关系. *现代地质—中国地质大学研究生院学报*, 1997, 11(1): 1- 9
- 22 单卫国, 罗刚, 巫正国. 滇东曲靖地区志留系层序地层特征和年代地层界线再讨论. *地层学杂志*, 1997, 21(1): 68- 76
- 23 Mackerrow W S. Ordovician and Silurian changes in sea level. *Geological Society of London Journal*, 1979, 136: 137- 145
- 24 Ross C A, Ross J R P. Late Palaeozoic transgressive-regressive deposition. In Wilgus C K, Hastings B S, Posamentier H W, et al, eds. *Sea-level changes: An Integrated Approach*. Society of Economic Paleontologists and Mineralogists Special Publication, 1988, 42: 227- 247
- 25 Breet C E, Goodman W M, LoDuca S T. Sequences, cycles and basin dynamics in the Silurian of the Appalachian Foreland Basin. *Sedimentary Geology*, 1990, 69: 191- 244

Silurian Sequence Stratigraphy of Upper Yangtze Region, China

Chen Jianqiang¹ Li Zhiming² Gong Shuyun² Li Quanguo² Su Wenbo²

¹(Department of Geology and Mineral Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083)

²(Faculty of Earth Sciences, China University of Geosciences, Wuhan 430074)

Abstract

The northeastern Guizhou and the eastern Yunnan are located on the Upper Yangtze Platform. The present study on seven sections in the region has established nine 3rd order sequences from the Llan-doverly (439 Ma) to the Pridoli (409 Ma), with an average duration of 3.3 Ma. The nine 3rd order sequences have constituted two 2nd order sequences. The first sequence consists of Longmaxi Fm. and Xi-angshuyuan Fm., extending chronologically from Rhuddanian to Early Telychian, with a distinct type-I sequence boundary at the bottom. Basinward, the bottom boundary shows as continuity at Tongzi belonging to Guizhou, while landward to the central Guizhou old land it becomes an overlap disconformity. Two 3rd order sequences have been recognized in the Leijiatun Fm. The Majiaochong Fm. (TST) and Rongxi Fm. (HST) make up the fourth sequence. The fifth and the sixth sequences are represented by the Xiushan Fm. and Huixingshao Fm. respectively. The sequence boundary between them, however, is not

concurring with the boundary of the formations. The second to fifth sequences are within the Telychian, and the sixth sequence is early Sheinwoodian in age. The seven to the ninth sequences are represented by the Guandi Fm. the Miaogao Fm. and the Yulongsi Fm. extending chronologically from the Homeric stage belonging to Wenlock to Pridoli. The first sequence and the seventh sequence among these nine sequences are type-I sequences, the others type-II sequences.

The above mentioned nine sequences are basically controlled by eustatic changes. Owing to the effects of the Caledonian movement, the steady uplifting of the Yangtze Platform during Silurian had apparently exerted an influence on the formation and the characters of the sequences. From the bottom upward, in each of the 3rd order sequences, the ratio of siliciclastics increases continuously with a corresponding increase in the thickness of sequence. In all of the third-order sequences, TST and HST are well displayed, but without LST and SMST.

Key words sequence stratigraphy sea-level change Silurian Upper Yangtze region China

(Continued from page 57)

The Carbon Isotope Cyclostratigraphic Responses to Sea Level Change in Upper Permian Limestones from South China

Li Yucheng

(Department of Earth Sciences,

Nanjing University, Nanjing Institute of Geology and Palaeontology, Chinese Academy of Sciences Nanjing 21008)

Abstract

The carbon isotope shifts during Upper Permian in the South China drop gradually, and such phenomena may correspond to sea level change. There are two 3rd order cycle of carbon isotope stratigraphy of Late Permian. The early one is included in the lower and middle Wujiapingian Stage, while the late one is included in the upper Wujiapingian and Changhsingian Stage. The carbon isotope curve in Changhsingian of South China can be distinguished three 4th order cycles from late 3rd order cycle. It is considered that the limestones with high values of $\delta^{13}\text{C}$ was deposited during highstand of sea level, while those with low values of $\delta^{13}\text{C}$ was deposited at lowerstand of sea level. Therefore, the 3rd or 4th-cycles of carbon isotope curve correspond to the 3rd or 4th order of sea level change, an interpretation supported by sequence stratigraphy analysis in South China. Based on carbon isotopic curve, the sea level dropped from Wujiapingian to Changhsingian, that is perfectly coincident with the strongest regressions of the end of Permian in the world. It may indicate that the carbon isotopic curves record the global sea level changes, and may suggest that sediments of the Changhsingian limestones deposited in transgression induced by regional tectonic subsidence in South China.

Key words Upper Permian South China carbon isotope sea level change