

文章编号: 1000-0550(1999)03-0345-10

# 海平面变化全球可比性的可靠例证<sup>①</sup>

## ——上扬子地台东南缘奥陶纪层序地层及海平面变化研究

苏文博<sup>1</sup> 李志明<sup>2</sup> 陈建强<sup>1</sup> 龚淑云<sup>1</sup>  
李全国<sup>3</sup> 高勇群<sup>2</sup>

1(中国地质大学(北京)地球科学与资源学院 北京 100083)

2(中国地质大学地球科学学院 武汉 430074) 3(北京自然博物馆 北京 100050)

**摘要** 通过对上扬子地台东南缘奥陶纪碳酸盐台地、台缘斜坡和盆地三个不同相区典型剖面的沉积学、生物地层学及岩石地层学等方面的综合研究,在该地区奥陶系中识别出时限为2~5 Ma的18个正层序和相应的19次海退事件,将其与塔里木、华北及北美、澳洲等大陆对比结果表明,上扬子地台东南缘奥陶纪的绝大部分三级以上海退事件及沉积层序有着良好的全球可比性。

**关键词** 海平面变化 沉积层序 全球可比性 奥陶纪 上扬子地台东南缘

**第一作者简介** 苏文博 男 1965年出生 博士 讲师 地层学及沉积学

**中图分类号** P539.2 **文献标识码** A

近年来,尽管层序地层学已经成为地层学以至整个地质学界的新的研究焦点之一,本身在许多方面也都取得了巨大成功,并推动着相关学科的发展,但是至今也还存在着一些有较大分歧的基本命题以及有待深入探讨的研究领域。其中海平面变化及沉积层序是否具有全球一致性便是最关键、也是争议最大的问题之一。

以 P R Vail, J C Von Wagoner 及 R M Jr Mitchum 等人为代表的 Exxon 学派的研究者坚持认为,所有级别的沉积层序,在成因上都是全球性的,即海平面变化在全球范围内是一致的,因此可以进行全球性的对比。A Hallam 也认为,尽管地区性构造运动对海平面变化的控制相当普遍,但是部分三级海平面旋回变化可能仍具全球性。以 A D Mail 为代表的一些学者认为,大的、长周期的海平面变化旋回可能具有全球性,但对三级等短周期海平面变化旋回的全球一致性则多次提出质疑,认为现阶段的测年技术还达不到确定三级及其以下沉积层序时限的精度,因此不同盆地海平面变化事件的精确对比(几乎)是不可能的。中国学者们也有类似的分歧。例如,刘本培等<sup>[1]</sup>对华南石炭系、史晓颖<sup>[2]</sup>在青藏高原中生界、王训练<sup>[3]</sup>在华南泥盆—石炭系界线附近等研究表明,三级、甚至一些更高级别的海平面变化在全球范围内是基本可比的。而殷鸿福等<sup>[4]</sup>通过对华南二叠—三叠系的研究对比,认为此阶段内三级海平面变化是否具有全球一致性,仍是有待商榷的问题。

作者近年参加了国家“八五”重大基础项目《中国古大陆

及其边缘层序地层及海平面变化研究(SSLC)》下属专题《扬子地台东南缘湘黔地区奥陶—志留纪层序地层及海平面变化研究》,并以奥陶纪的研究为基础完成了博士学位论文<sup>②</sup>。本文将简述其中的成果之一,即上扬子地台东南缘奥陶纪的二级和绝大多数三级海平面变化及沉积层序有着良好的全球可比性。文中层序的级别体系与名称采用王鸿祯和史晓颖<sup>[5]</sup>最近提出的划分方案。

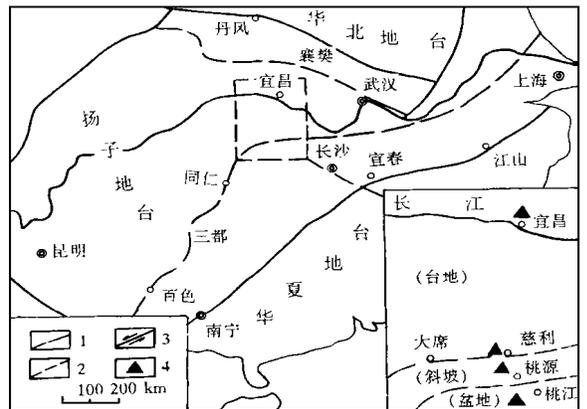


图1 研究区大地构造及剖面带位置图

Fig. 1 The geotectonic setting and the location of outcrop section—zone of the study area

1. 构造单元界线; 2. 相区界线; 3. 平移断层; 4. 剖面带位置

① 本文由国家“八五”及“九五”重大基础性科研项目(SSER)及国家自然科学基金项目(批准号: 49802002)联合资助。

② 苏文博. 上扬子地台东南缘奥陶纪层序地层及海平面变化研究. 1997

# 1 上扬子地台东南缘奥陶纪层序地层及海退事件研究概述

## 1.1 研究简史及现状

关于扬子地台东南缘奥陶系层序地层研究,刘宝珺等<sup>[6]</sup>曾最早做过概略性划分。李志明和陈建强负责的 SSLC 专题研究,将湘中—湘西北地区的奥陶系划分为 11 个层序,基本上确认了该地区奥陶纪海平面变化过程,初步建立了扬子地台东南缘奥陶系层序地层格架<sup>[7]</sup>,为以后研究奠定了基础。汪啸风及李志明等<sup>[8]</sup>根据这一专题成果讨论了华南早奥陶纪阶段的海退事件在世界一些地区的相应表现。作者根据这一研究则进一步提出了奥陶纪实际上包含两次二级海平面变化,形成两个中层序(Mesosequence)<sup>[5]</sup>、对应这两个中层序可将奥陶系进一步划分为两个亚系的观点<sup>[9-10]</sup>。

按照 R. Fortey<sup>[11]</sup>厘定后的奥陶系各“统”的界限,上述 11 个层序中, Tremadoc-Arenig 未含有 7 个, Llanvirn 含 1 个,

Caradoc 含 2 个, Ashgill 含 1 个。这一成果对上扬子地台相当于大湾期—五峰期阶段(即 Arenig 中期以后),因原碳酸盐台地遭受淹没<sup>[6]</sup>而成为深凉水背景的奥陶纪层序的识别划分和讨论显得较为粗略了些。

## 1.2 本次研究识别的沉积层序及海退事件总体特征

由于宜昌黄花场等剖面的生物地层学研究较详<sup>[12-13]</sup>,因此可以利用该处的生物带标定各层序的相对时限,便于区域对比。作者以此为重点,着重对大湾—五峰期地层进行层序划分,并对原专题一些实测剖面作了补充观测。通过沉积学、生物地层学和岩石地层学等多方面的综合研究,确认不同相区的沉积体系和体系域之间的时空匹配关系,最终将上扬子地台东南缘的奥陶系划分为 18 个沉积层序(表 1, 图 2)。依据它们在黄花场剖面上的层位以及现有的生物地层资料,作者确定了这 18 个层序以及相应的 19 次海退事件的相对时限,并进行了尝试性的系统命名。根据现有的地质年代代表数据<sup>[14]</sup>估算出的各层序的时限,大致上都在 2~5 Ma

表 1 各层序基本特征及海退事件与岩石地层、生物地层、年代地层对照表

Table 1 Characteristics of the Ordovician sequence stratigraphy and the relevant regression events in the study area and the correlation with lithostratigraphy, biostratigraphy and chronostratigraphy

岩石地层(组)及所含层序厚度/m				层序地层				生物及年代地层								
峡东 区	八面山 小区	武陵山 小区	湘中 区	序 号	界 面 类 型	层序 名称	层序 时限 /Ma	海退 事件	生物带		阶 /Ma	年 龄				
									笔石	牙形石						
五峰	5-8	五峰	0.8	五峰	36	21	OS18	SB2	五峰层序	3	WRE	<i>D. bohemicus</i> <i>D. complanatus</i>	<i>A. ordovicicus</i>	五峰	439	
临湘	2-3	临湘	1.6	临湘	1.6	9	OS17	SB1	临湘层序	3	LRE	<i>O. quadrimucronatus</i> <i>D. johstrupi</i>	<i>P. insculptus</i>	临湘	442	
	13-14		14		5	11	OS16	SB2(SB1)	梅江层序	5(6)	MRE	<i>C. pygmaeus</i>			445	
宝塔	10-12	宝塔	9-10	宝塔	4.5	6-7	OS15	SB2	宝塔层序	5(6)	BRE	<i>C. spiniferus</i>	<i>H. europaeicus</i>	宝塔	457	
						糖刀溪	6-7	OS15	SB2	庙坡 b 层序	5(6)	MPPRE2				<i>D. clingani</i>
庙坡	1.8-2.0	大田坝	3-5	舍人湾	1.7	4-5	OS14	SB2	庙坡 b 层序	5(6)	MPPRE1	<i>C. hincsi</i>	<i>P. anserinus</i>	庙坡	468	
	0.5-0.8		5-7			OS13	SB2	庙坡 a 层序	5(6)	MPPRE1	<i>N. gracilis</i> <i>C. hincsi</i> <i>/ H. teratiusculus</i>	468				
牯牛潭	5-8	牯牛潭	8-5	?	?	22.4	OS12	SBD*	长阳层序	4~5	GRE2	<i>D. murchisoni</i> <i>/ P. elegans</i>	<i>E. foliaceus</i>	牯牛潭	476	
	28-29		12			45	27	OS11	SB2	牯牛潭层序	4~5	GRE1	<i>N. fasciatus</i> <i>/ P. succicus</i>			<i>E. succicus</i>
大湾	18-20	大湾	5	九溪	34	42	OS10	SB2	大湾 c 层序	4~5	DRE3	<i>C. uniformis</i> <i>O. magnus</i>	<i>A. variabilis</i>	大湾	490	
	24-26		9			48	54	OS9	SB2	大湾 b 层序	4~5	DRE2	<i>I. victories</i>			<i>P. trigularis</i> <i>/ P. navis</i>
	6-8		5.5			32	9.1	OS8	SB2	大湾 a 层序	4~5	DRE1	<i>D. deflexus</i>			<i>O. evae</i>
红花园	50-55	红花园	60	桃花石	128	30	OS7	SBD*	红花园层序	3~4	HRE	<i>P. fruticosus</i> <i>T. approximatus</i> <i>/ P. kaerograpus</i>	<i>P. elegans</i>	红花园	493	
	30-35		105			110	14.5	OS6	SB2(SB1)	分乡 b 层序	2~3	FRE2	<i>P. pratensis</i> <i>/ S. diversus</i>			
	20-25		35			30	9.7	OS5	SB2(SB1)	分乡 a 层序	2~3	FRE1	<i>Bryograptus</i>			<i>P. deltifer</i>
	50-55		55			60	12.4	OS4	SB1	南津关 c 层序	2~3	NRE3	"R", <i>anglica</i> <i>Ass.</i>			<i>G. quadruplicatus</i>
25-30	30	45	7.3	OS3	SB2	南津关 b 层序	2~3	NRE2	<i>Psigraptus</i>							
西陵峡	45-5	35	61	12.7	OS2	10	OS1	SB1	西陵峡 b 层序	2~3	XRE2	<i>S. dichotomus</i> <i>/ R. flabelliforme</i>	<i>A. costatus</i> <i>C. angulatus</i>	两河口	510	

注: 岩石地层据文献[12]、[19]; 厚度据笔者等; SBD 即淹没型层序界面, 层序即为淹没型; WRE 即五峰海退事件(Wufeng regressive event), 其余类推; 生物带据文献[13]、[18~19], 年代地层据文献[14]及王鸿祯(1996, MS)

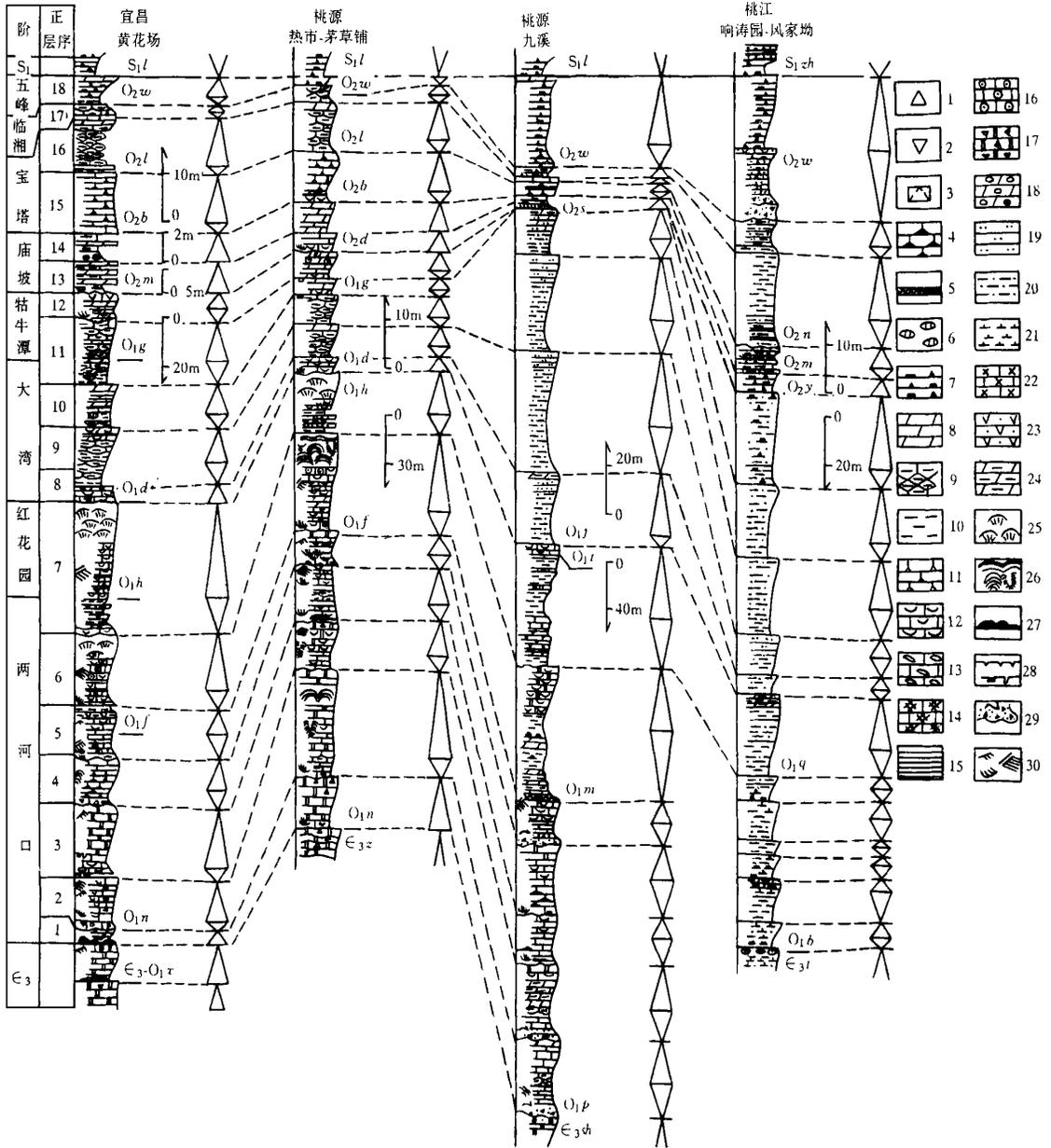


图2 上扬子地台东南缘奥陶系层序地层划分对比图

- 1. 向上变浅; 2. 向上变深; 3. 未分; 4. 硅质条带-团块灰岩; 5. 铁泥质古风化壳; 6. 灰质-锰质结核; 7. 碳硅质页岩; 8. 泥灰岩;
- 9. 瘤状泥灰岩; 10. 泥岩; 11. 收缩纹(龟裂纹)灰岩; 12. 生屑灰岩; 13. 砾屑灰岩; 14. 含海绿石灰岩; 15. 页岩;
- 16. 鲕状灰岩; 17. 白云岩及含角砾白云岩; 18. 含核形石泥灰岩; 19. 粉砂岩; 20. 粉砂质泥(页)岩; 21. 钙质泥岩; 22. 锰(质)灰岩;
- 23. 斑脱岩(沉凝灰岩); 24. 条带状泥灰岩; 25. 托盘藻礁; 26. 各种叠层石; 27. 硅化栉壳(古岩溶喀斯特);
- 28. 泥裂(上)及虫孔(下); 29. 浊积岩及底形; 30. 各种斜层理

Fig. 2 Ordovician sequence stratigraphy framework on the southeastern margin of the Upper Yangtze Platform

之间,符合三级层序即正层序(Orthosequence)<sup>[5]</sup>的延限范围。

研究区各相区的剖面观测结果表明,在各类层序界面未发现有河流相或其他陆源碎屑的沉积楔体,但是,其中一些层序的界面在台地及斜坡上部往往可见一些特殊的物理及

化学标志。这些标志表明此间曾经发生过沉积相带向盆地一方的大幅度迁移、地表暴露及大气淡水成岩作用,与J F Sarg<sup>[15]</sup>所指的大规模海平面下降形成的I类层序相符,因此作者便将此类界面和层序归为I型。具体而言,这类层序在研究区的台地相区一般有如下表现:

1) 古岩溶(喀斯特)地形地貌及成岩作用:如 OS1、OS2 等层序的底界面,在黄花场、热市剖面等地即为此种特征。层面波状起伏,其下多为厚层一块状次生白云岩或白云质灰岩等,其上则多有岩溶或膏溶形成的角砾或渣状层,并伴有不同程度的硅化及淡水淋滤等特征;

2) 较大规模和较长时限的地层缺失即平行不整合:如 OS17、OS18 等层序的顶界。在这样的层序界面上,往往发育有古风化壳残余体或古土壤层,并多被铁泥质所胶结,界面上下的地层往往有明显的缺失—如 OS18 以及 OS17 的全部和 OS16 的一部分,在湘北及鄂西南一带因暴露而遭受剥蚀,上覆的早志留世地层也往往缺失其最早期的 3~4 个笔石带;

3) 明显的侵蚀与截切地形:其一是界面上下地层的局部产状以不协调的凹凸状剥蚀沟槽相接触,界面间地层存在较小的剥蚀,但没有古风化壳残余体或古土壤层,如层序 OS5 的底界等。其二是指下伏的呈丘状一块状生长的生物礁(丘)被层理明显的上覆沉积所截切,如层序 OS6 以及 OS7 在峡东及湘西北便有如此特征;

4) 暴露特征:如泥裂、鸟眼构造等。层序 OS5 的顶界在热市等地便有如此表现。

I 型层序在本区的台缘斜坡相区一般表现为重力流沉积对下伏地层的强烈下蚀等。如层序 OS1、OS2、OS5 及 OS18 等。由于台地相区及斜坡顶部在海退阶段较长时间的暴露和较低的海平面等,台缘斜坡相区的 I 型界面存在着对下伏地层的硅化、白云岩化,甚至局部岩溶等大气淡水影响的成岩及成岩后生作用,同时使得这附近的碳酸盐沉积物极易形成重力流而向下快速运移。在这一过程中,它们会对下伏地层产生强烈的刮蚀与拖曳,因而有着起伏的底界和一定的剥蚀作用。如在 OS1、OS2 的低位体系域中,便存在着大量的含有管孔藻、鲕粒等台区浅水背景生物—沉积组合的浊积型碳酸盐岩扇体或透镜体。

不过,所有上述在台区及台缘斜坡区特征明显的 I 型界面,在水深较大的深斜坡—盆地相区,往往均变成了特征不甚明显的整一的界面,只能通过沉积相序列的分析来大致地确定。

当台区一侧暴露特征并不明显,斜坡一侧不见上述扇状或楔状沉积物,而在台地近边缘地带出现了边缘楔状体,界面之上的沉积相向盆地一侧并没有太大的迁移,上覆地层又自成一个完整的加深—变浅旋回时,与 J F Sarg<sup>[15]</sup>所述 II 类层序一致,作者便将它们划归为 II 型界面和层序。它们主要有以下特征:

1) 岩性结构转换面:这是本区奥陶系中最为常见的一类 II 型界面,如层序 OS3-OS4、OS6、OS9-OS11、OS14-OS17 等。它们通常表现为代表加积—进积、总体变浅性质的相序列,向上突然为代表退积、总体加深的相序列所覆盖。在台地淹没阶段或者较深水相区(台缘斜坡及深斜坡—盆地相区),这种界面往往是识别、划分层序的关键。

2) 较弱程度的暴露及大气淡水作用:表现为台地内部相区出现白云岩化及硅化作用,界面附近有时可见少量因暴露而产生的滞留砾(lag)等。更多时候则在界面以上出现一些代表滨线附近沉积的粉砂质泥岩及浅水波痕等,如层序 OS4 顶界。有时则在界面附近出现诸如泥裂、石膏假晶及鸟眼构造等暴露特征,如层序 OS3 等。

3) 代表陆架边缘楔沉积的“浅海凝缩作用”(Shallow marine condensation process)沉积:通常表现为生物介壳(屑)岩、鲕粒或核形石层等浅水沉积,见于深水序列的地层中,但其本身并非浊积岩等异地沉积。如层序 OS15、OS16 底界。从总体来看,上覆层序是由于下伏层序所代表的正常浅水台地遭到淹没而形成的相对深水相产物。按照 W Schlager 等人<sup>[16-17]</sup>的研究,作者将这类层序及其界面划归为淹没型层序(drowning sequence)及淹没不整合(drowning unconformity),即 D 型。本区这类层序包括 OS8 和 OS13,它们均有如下特点:

首先,凝缩段或者很薄的海进体系域与凝缩段的复合体,直接覆盖在下伏层序的高位体系域之上;其次,相互接触的两个层序,随着时间的推移在纵向上呈现出沉积相和沉积环境的跳跃式变化,标志着海平面的快速上升及水体的突然加深,从而导致原有碳酸盐台地的淹没与死亡。表现在岩性特征上,在台地相区某些地点,往往是在下伏层序的高位体系域顶部,产生如古岩溶、白云岩化等暴露标志;或者为明显的沉积截切,使原来的礁体等停止生长或不再沉积,并遭受到一定程度的剥蚀,呈现出与前述 I、II 型界面类似的特点。但在上覆的层序底部,则往往为含海绿石灰岩、黑色笔石页岩等,代表着饥饿状态下的凝缩段或者很薄的海进体系域与凝缩段的复合体。而这一上覆层序的高位体系域,也为含有深水相生物组合的沉积序列。同时在台缘斜坡相区,也会有类似的纵向系列,只是下伏层序的顶部一般没有暴露与大的剥蚀或缺失。而在水体更深、远离碳酸盐台地及其他物源的深斜坡—盆地相区,则只是出现连续沉积的饥饿相黑色碳质页岩等,有时不易区分旋回与界面。

通过上述三类层序的识别与划分,结合底栖生物组合等资料,作者确认了相关海退事件的相对规模与幅度大小,并将它们体现在文中的图表及相对海平面变化曲线上。

## 2 与塔里木及华北地台的对比

SSLC 项目有关课题组在华北及鄂尔多斯周缘地区的成果<sup>[20,21]</sup>、孟祥化等(1996, MS)在华北一些地区的研究、曾学鲁等<sup>[22]</sup>在新疆塔里木北部的工作,以及各地区经典剖面的生物地层资料等,使得中国三大稳定地台之间奥陶纪层序地层的对比有了初步的基础,如表 2 所示。其主要特点如下:

1) 上扬子东南缘奥陶纪的绝大部分正层序,可与塔里木、华北及鄂尔多斯周缘一带的划分进行良好的对比。特别是从红花园阶到五峰阶,上扬子东南缘存在着 12 个层序(OS7-OS18),几乎与塔里木北部及鄂尔多斯南缘的划分一

表 2 上扬子地台东南缘与塔里木及华北地台奥陶系层序地层对比表

Table 2 Correlation of the Ordovician sequence stratigraphy on the southeastern margin of the Upper Yangtze Platform with that of Tarim and North China(Sino-Korea) Platform

年代地层		上扬子东南缘				塔里木				华北			鄂尔多斯南部及南缘				鄂尔多斯北部及北缘				华北中东部									
统	阶	Ma	层序地层				地层				地层			层序地层				地层				层序地层								
			MS	SS	OS	TYPE	组	层序	超	巨	组	二级	三级	组	MS	OS	RYPE	组	组	巨	超	高频	层序	组	OS	TYPE				
钱塘江	五峰	439	Mesosequence-2	Hss-2	18	I	16	15	TPA2	背锅山	12	13	上店	MS-5	12	I	11	I	10	II	蛇山	29-27	26-25	24-21	20-19	25-29	峰峰	7	11	
	临湘	442			17	II or I					印干	14			13	12														11
艾家庙	宝塔	445	I ss-2	Hss-2	16	II	14	13	12	其浪	11	10	TPA1	凉	6	9	8	7	II	乌拉力克	峰峰	21-24	25-29	20-19	25-29	峰峰	7	11		
	庙坡	457			15	II																							坎岭	11
扬	牯牛潭	468	Mesosequence-1	Hss-1	14	II	13	12	11	坎岭	10	9	TPA1	凉	6	9	8	7	II	乌拉力克	峰峰	21-24	25-29	20-19	25-29	峰峰	7	11		
	大湾	476			13	II																							萨干	12
宜	红花园	490	I ss-1	Hss-1	12	II	11	10	9	大湾沟	7	6	SC3	马家沟	5	5	4	3	II	克里摩里	马家沟	18-16	21-24	15-12	16-20	11-9	14-15	下马家沟	5	I or II
	两河口	493			11	II																								
昌	亮甲山	493	I ss-1	Hss-1	9	II	8	7	6	鹰山	5	4	SC2	亮甲山	4	3	2	I	III	三道坎	亮甲山	15-12	16-20	11-9	14-15	下马家沟	4	I or II		
	蓬菜坝	493			8	D																							亮甲山	7
昌	亮甲山	493	I ss-1	Hss-1	7	II	6	5	4	亮甲山	3	2	SC1	亮甲山	4	3	2	I	III	三道坎	亮甲山	15-12	16-20	11-9	14-15	下马家沟	3	II		
	蓬菜坝	493			6	II																							亮甲山	6
昌	亮甲山	493	I ss-1	Hss-1	5	I	4	3	2	蓬菜坝	1	1	SC1	亮甲山	4	3	2	I	III	三道坎	亮甲山	15-12	16-20	11-9	14-15	下马家沟	2	I		
	蓬菜坝	493			4	II																							亮甲山	4
昌	亮甲山	493	I ss-1	Hss-1	3	II	2	1	蓬菜坝	1	1	1	SC1	亮甲山	4	3	2	I	III	三道坎	亮甲山	15-12	16-20	11-9	14-15	下马家沟	1	II		
	蓬菜坝	493			2	I																							亮甲山	2
昌	亮甲山	493	I ss-1	Hss-1	2	I	1	1	蓬菜坝	1	1	1	SC1	亮甲山	4	3	2	I	III	三道坎	亮甲山	15-12	16-20	11-9	14-15	下马家沟	1	II		
	蓬菜坝	493			1	I																							亮甲山	1

塔里木据曾学鲁 [22]; 华北据孟祥化等 (1996, MS); 鄂尔多斯南部及南缘据贾振远等 [20]; 鄂尔多斯北部及北缘据魏魁生等 [21]; 华北中东部据乔秀夫等 (1996, MS)。年代地层据王鸿祯、李光岑 [14] 及王鸿祯 (1996, MS)

一相当。而上扬子东南缘的绝大部分海退事件, 在其它两大稳定地台上均有着较显著的表现, 并成为各地区层序、层序组或超层序(二级层序)划分的特征依据。比如①奥陶纪末的五峰海退事件(WRE), 在塔里木北部大致相当于印干组与柯坪塔格组之间的平行不整合; 在华北鄂尔多斯西部及南部, 它则很可能与背锅山组及上店组顶部的不整合相当; ②牯牛潭海退事件2(GRE2)是指牯牛潭阶\庙坡阶之交时发生的海退, 在华北及鄂尔多斯地区分别与上马家沟组\峰峰组或平凉组之间、克里摩里组\乌拉力克组之间的平行不整合或沉积间断对应, 在塔里木北部则大致与萨干组中部的一个间断面相当; ③大湾海退事件3(DRE3)即大湾阶\牯牛潭阶之交的海退, 在塔里木北部它与鹰山组\大湾沟组之间海退事件等时, 而在华北及鄂尔多斯地区则可与上、下马家沟组之间较大的沉积间断相吻合; ④分乡海退事件2(FRE2)是指分乡组\红花园组之间的海退, 在整个华北它与亮甲山组\下马家沟组之间的平行不整合相当, 并与塔里木东北部蓬菜坝组\鹰山组之间的海退事件等时; ⑤西陵峡海退事件1(XRE1)是指寒武纪\奥陶纪之交的海退事件, 分别相当于塔里木东北部蓬菜坝组底部及华北地区冶里组底部的沉积间断或平行不整合等。其它诸如宝塔海退事件(BRE)、庙坡海退事件1(MPRE1)及红花园海退事件(HRE)

等, 也都能在华北及塔里木北部见到相应的踪迹。显然, 奥陶纪绝大部分三级旋回以上海平面变化及层序, 在中国三大稳定地台内具有基本一致的等时性。而上扬子东南缘、塔里木北部及鄂尔多斯南缘三地间自红花园阶到五峰阶的吻合性最好, 则很可能与这些地区至今均保存有相似的、相对完整的从台地经台缘斜坡到盆地相区的古地理背景<sup>[6, 23]</sup>及地层序列<sup>[12, 22]</sup>有关。

2) 某些层序序列, 如①上扬子两河口阶内的 OS1-OS6, 只与华北及塔里木的 1 或 3 个层序相当; ②塔里木其浪组(宝塔阶)、华北背锅山组(五峰阶?) 以及鄂尔多斯北缘三道坎组-蛇山组(大湾-宝塔阶)等, 含有比上扬子地区同期“更多”的层序; ③在华北与上扬子红花园组相当的亮甲山组中, 人们识别出 2~3 个层序。显然三大地台之间存在着一些差异。分析表明, 造成这些差异的原因主要有以下几点: 其一可能是由于各研究区的古地理背景不同, 使得层序的沉积形式及保存状态有所不同; 而后期构造运动又破坏了相带分异的连续性, 使得完整的层序结构往往难以恢复。如例①, 上扬子两河口阶含有 6 个正层序, 但台地内部相区及盆地相区就不如台缘斜坡相区发育完整(图 2)。在台地内部相区, 这 6 个正层序多表现为薄的 TST 及 HST 之间的叠加或复合, 而在盆地相区则显示出深水区物源相对匮乏时的凝

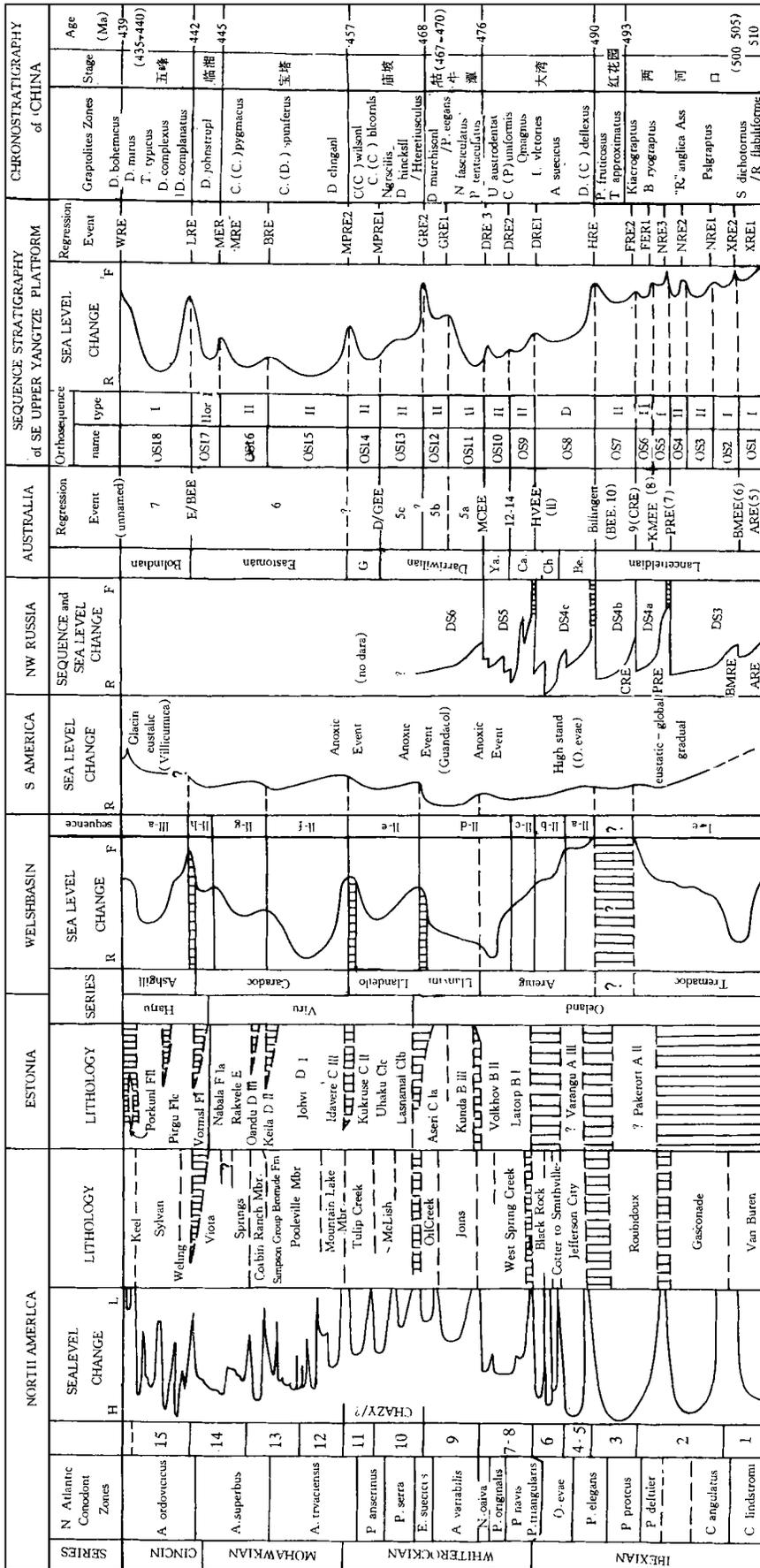


图 3 上扬子地台与世界其它主要地区奥陶纪层序地层及海平面变化对比图  
 北美地层及海平面变化根据文献[26],[27],[28]的资料综合;爱沙尼亚据文献[34];英国威尔士盆地据文献[33];  
 南美引自文献[37],[39];俄罗斯斯西北部引自文献[36];澳大利亚由文献[30]和[31]  
 的资料综合;中国的笔石带据文献[18],[19];阶及测年据文献[14]及王鸿祯(1996,MS)。

Fig.3 Correlation of the Ordovician sequence stratigraphy and the sea - level  
 changes between Yangtze Platform and other continents around the world

缩或缺失。若不参照台缘斜坡相区的情形,在台地内部相区很可能只能划分出2~3个界面及结构特别明显的I型层序。但实质上它们已属于小型的正层序组(Orthosequence set)<sup>[5]</sup>。华北中东部及塔里木北缘的两河口阶,因只有相当于台地内部相区的沉积<sup>[12,22]</sup>而难以细分,所以当前的划分很有可能只相当于上扬子东南缘的正层序组。这实际上也反映了形成这些差异的另外一个原因,即因区域背景因素而导致的区域性海平面升降差异对大范围乃至全球三级海平面变化的“加强”或“削弱”,会进而导致沉积旋回记录在幅度及频率等方面出现一定差异。同时还说明,在层序级别体系的划分及认识上,目前学者们之间还未能达到完全统一。比如说,魏魁生等在鄂尔多斯北缘<sup>[21]</sup>等地的划分,就已属于高频层序(High-frequency sequence)即亚层序(Subsequence)<sup>[5]</sup>的范畴。

因此,就目前研究来看,作者认为上扬子东南缘与塔里木北部及华北等地的绝大部分奥陶纪正层序及相应的海退事件是完全可比的。

### 3 与世界其它大陆奥陶纪海平面变化事件对比

北美是系统地进行了奥陶纪层序地层及海平面变化研究的第一个大陆<sup>[24~29]</sup>;澳大利亚的学者们则对该大陆奥陶纪早期的海水进退进行了较为详尽的研究<sup>[30~31]</sup>;在北欧,人们在斯堪的那维亚<sup>[32]</sup>、威尔士<sup>[33]</sup>、波罗的海沿岸(爱沙尼亚等)<sup>[34~36]</sup>也开展了不同程度的工作。在北美,目前的研究已基本阐明了一些较长时限或较高级别的海平面变化轮廓<sup>[37~39]</sup>。

从图3可以看出:

1) 北美奥陶纪中晚期(Mohawkian-Cincinnatian)内所识别出的沉积层序及海平面变化事件,其频率远大于本文研究区;但其早期(Ibexian或Canadian)地层记录,显然因缺失太多<sup>[26~28]</sup>而无法识别出更多层序。尽管如此,上扬子地台的19次海水进退事件,大多可在北美找到其踪迹,而且两地之间有着极其相似的趋势及幅度。借助于种属基本相同的牙形石和笔石带等,两地间可进行较精确的对比。如Van Buren/Gasconnade、Gasconnade/Roubidoux、Roubidoux/Jefferson City、Black Rock/West Spring Creek、Oil Creek/Melish、Viota Spring/Weling等之间的平行不整合及沉积缺失或间断,就分别对应着上扬子东南缘的XRE2、NRE3、HRE、DRE1、GRE2、LRE等海退事件。即使是奥陶纪最晚期的Keel组所代表的小规模海水进退,也与上扬子同时期五峰组观音桥层的形成过程相吻合。

2) 澳大利亚奥陶纪早期(Darriwilian以前)海水进退事件频率和层位的绝大多数与上扬子地区是完全相当的。如ARE、BMEE、PRE、KMEE、CRE、BEE、HVEE、12-14、MCEE、5A/5B及5B/5C之间等海退事件,就分别对应着本文的XER1、XRE2、NRE3、FRE1、FRE2、HTE、DRE1、DRE2、

DRE3、GRE1及GRE2等事件。只有PRE与BMEE之间,目前尚未见与上扬子NRE1和NRE2相当的事件。但据现有资料<sup>[30~31]</sup>,这段地层在澳洲大陆上发育不全,甚至完全缺失,存在着与北美同期地层类似的沉积间断(Gasconnade/Roubidoux之间)<sup>[26~28]</sup>,因此一些事件尚不能在那里识别或不能精确定位。

澳大利亚奥陶纪晚期(Darriwilian后)的海平面变化研究尚不够深入,但比如D/GEE、E/BEE以及Bolindin末期的未命名海退事件等,显然和上扬子的庙坡海退事件1(MRE1)、临湘海退事件(LRE)及五峰海退事件(WRE)等具有完全相当的层位和时限。

3) 北欧地区(爱沙尼亚、威尔士及西北俄罗斯)的研究虽然不够详尽,但已基本阐明了一些较长时限或较高级别海平面升降变化的特征。在英国威尔士盆地,Woodcock<sup>[33]</sup>根据大的平行不整合共识别出10个沉积层序及11次相应的海退事件,它们在上扬子东南缘均有其对应物,只是Tremadoc及Llanvirn-Llandiello间地层层序划分与上扬子东南缘相比稍粗略了些。爱沙尼亚的情形与威尔士盆地完全类似。西北俄罗斯目前只有Llanvirn之前的层序划分,但对应的海退事件,如ARE、BMRE、PRE、CRE等,均可与澳洲、北美及上扬子东南缘等地相对比。

4) 南美的情形和北欧类似,目前所识别出的实际上也只是奥陶纪较高级别二级或亚二级的海水进退轮廓,但它们和上扬子地台东南缘也是吻合的。比如在奥陶纪初期,南美与上扬子及世界其它地区一样,总体上也是一个海平面逐渐升高的海侵过程;之后便是一个高水位阶段,与上扬子东南缘大湾期情形相同;紧接着有三次大的缺氧事件即海平面的快速上升,分别与上扬子东南缘大湾期末—宝塔期初的三次较大规模海侵相当。其中的Guandacol缺氧事件,就对应着庙坡初期上扬子碳酸盐地的大规模淹没事件及淹没层序(即庙坡a层序OS13)。这之后的总体海退趋势及三次大的海退事件,也可在上扬子东南缘找到踪迹。特别是奥陶纪末期的Villicumica海退,则对应着上扬子的五峰海退事件(WRE)。

由此看来,上扬子东南缘奥陶纪三级旋回以上海平面升降变化,可以与北美、北欧、南美及澳洲等其他大陆进行对比,具有全球一致性(图3)。相信进一步的工作会更详细地揭示这些阶段上述地区稍小规模的海水进退,从而使其间对比变得更为准确可信。

## 4 结论

上扬子地台奥陶纪海平面变化不仅在中国三大稳定地台上可以识别,而且在世界主要大陆之间也能够进行良好的对比的事实说明,至少在三级旋回的级次水平上(2~5Ma)<sup>[5]</sup>,沉积层序主要是由各种球内外因素综合作用所导致的基本一致的全球海平面升降变化所形成的;区域性的构造运动及沉积背景等方面的差异,则会对这一过程造成某种

程度的叠加或削弱,但总的趋势(升或降)仍是一致的。同时这一事实也给予我们这样的一个启示:如果各国学者能在全球范围内不断深入完善这一研究,进一步阐明各级沉积层序、海退事件与古生物化石群(带)演替之间的内在关系,通过在全球范围内的反复对比与验证,去“伪”(地方及区域性变化)存“真”(全球性变化),将会补充修正一些传统地层对比方法的不足与缺陷(如标准化石法等),并可望按照沉积层序及海平面变化的周期等地球历史自然节律<sup>[2-5]</sup>选择全球年代地层基本单位(首先如‘统’、‘阶’等)及其界线,最终建立精度更高、操作性更强的新一代年代地层体系。

是否可以这样说,层序地层及海平面变化的全球可比性带来了这样的一个契机:也许是应该重新评价和认识“自然线”及“不整合界定单位”并赋之以新的内涵加以应用的时候了。

本文始终得到了王鸿祯院士的悉心指导和帮助,并获益于汪啸风研究员、乔秀夫研究员、薛淑浩教授级高工以及刘本培教授、史晓颖教授、王训练教授等多位老师的衷心意见和建议,野外期间得到何龙清副研究员、陈孝红副研究员及傅汉英高级工程师、高建祥工程师等多位同志的大力帮助还得到了戎嘉余院士和陈旭研究员的热情指点,在此谨表衷心感谢!

### 参 考 文 献

- 刘本培,李儒峰,尤德宏.黔南独山石炭系层序地层及麦粒蜓带冰川型全球平面变化[J].地球科学,1994,16(5):553~564
- 史晓颖.35 Ma—地质史上一个重要的自然周期—自然临界的概念及其成因[J].地球科学,1996,21(3):235~242
- 王训练.华南上泥盆统和下石炭统层序地层学[J].地球学报,1997,18:98~105
- 殷鸿福,童金南,丁梅华.扬子区晚二叠世—中三叠世海平面变化[J].地球科学,1994,16(5):627~632
- Wang Hongzhen, Shi Xiaoying. A scheme of the hierarchy for sequence stratigraphy[J]. Earth Science—Journal of China University of Geosciences, 1996, 7(1): 1~12
- 刘宝君,许效松,徐强等.中国南方古大陆沉积地壳演化与成矿[M].北京:科学出版社,1993,236
- 李志明,陈建强,苏文博等.湘西北地区奥陶纪层序地层学研究[J].地球科学,1997,22(5):471~479
- Wang Xiaofeng, Li Zhiming, Chen Jianqiang *et al.* Early Ordovician sea-level changes in south China and their worldwide correlation[J]. Earth Science—Journal of China University of Geosciences, 1996, 7(1): 54~62
- Su Wenbo, Li Zhiming, Chen Jianqiang, *et al.* Subdivision of the Subsystems of Ordovician: A hint from Ordovician sequence stratigraphy in the Southeast Yangtze Block, China[C]. 30th IGC, Abstracts, Vol. 2—3, 1996, 23
- 苏文博,陈建强,李志明等.上扬子地台东南缘奥陶纪层序地层与奥陶系亚系的划分[J].地球科学,1997,22(4):377~381
- Fortey R A. The Ordovician Series of the Historical Type Area: Revision as a Contribution to Their Utility in International Correlation. In: Cooper J D, Droser M L, Finney S C, eds. Ordovician Odyssey, SEPM Pacific Section[C]. Las Vegas: University of Nevada, 1995, 11~13
- 赖才根,汪啸风,安太库等.中国的奥陶系,中国地层(5)[M].北京:地质出版社,1982,297
- 汪啸风,倪世钊,项礼文等.长江三峡地区生物地层学(2)早古生代分册[M].北京:地质出版社,1987.图版72幅,641
- 王鸿祯,李光岑编译.国际地质时代对比表[M].北京:地质出版社,1990,1幅
- Sarg J F. Carbonate Sequence Stratigraphy[A]. In: Wilgus S *et al.*, eds. Sea-level change—an integrated approach[C]. SEPM Special Publication, 1988, 43: 155~181
- Schlager W. The paradox of drowned reefs and carbonate platforms[J]. Geological Society of America Bulletin, 1981, 92: 197~211
- Golammer R K. Depositional cycles, composite sea-level changes cycle stacking patterns and the hierarchy of stratigraphic forcing: Examples from Alpine Triassic platform carbonates[J]. Geological Society of America Bulletin, 1990, 102: 535~562
- 陈旭,戎嘉余,汪啸风等.中国奥陶纪生物地层学研究的新进展[J].地层学杂志,1993,17(2):89~99
- 汪啸风,陈旭,陈孝红等.中国地层典·奥陶纪[M].北京:地质出版社,1996,126
- 贾振远,蔡华,蔡忠贤等.鄂尔多斯地区南缘奥陶纪层序地层及海平面变化[J].地球科学,1997,22(5):491~503
- 魏魁生.鄂尔多斯盆地北部奥陶系碳酸盐岩层序地层研究[J].地球科学,1996,21(1):1~10
- 曾学鲁,徐钰琳,魏真鑫等.新疆塔里木盆地北部早古生代层序地层及其古生物学研究[M].北京:地质出版社,1996,86
- 王鸿祯主编.中国古地理图集[M].北京:地图出版社,1985.图143幅,中文说明85页,英文说明25页
- Bames C R. Early Ordovician eustatic events in Canada[A]. In: D. L. Bruton eds. Aspects of the Ordovician System[C]. Paleontological Contribution of the University of Oslo, 1984, 295: 51~63
- Ross C A, Ross J R P. Late Paleozoic transgressive—regressive deposition[A]. In: Wilgus S *et al.* eds. Sea-level change—an integrated approach[C], SEPM Special Publication 1988, 43: 227~247
- Ross J R P, Ross C A. Ordovician sea-level fluctuations[A]. In: Webby B D, Laurie J R, eds. Global perspectives on Ordovician geology[C]. Rotterdam; Balkema, 1992, 327~335
- Ross C A, Ross J R P. North American Ordovician Depositional Sequences and Correlations[A]. In: Cooper J D, Droser M L, Finney S C, eds. Ordovician Odyssey, SEPM Pacific Section[C]. Las Vegas: University of Nevada, 1995, 309~313
- Schutter S R. Ordovician hydrocarbon distribution in North America and its relationship to eustatic cycles[A]. In: Webby B D, Laurie J R, eds. Global perspectives on Ordovician geology[C]. Rotterdam; Balkema, 1992, 421~432
- Miller J E. The Lange Ranch Eustatic Event: A regressive—trans-

- gressive couplet near the base of the Ordovician System [ A ] . In: Webby B D, Laurie J R eds. Global perspective on Ordovician geology [ C ] . Rotterdam; Balkema. 1992. 395 ~ 407
- 30 Nicoll R S L, Laurie J R, Shergold J H. Preliminary Correlation of Latest Cambrian to Early Ordovician Sea Level Events in Australia and Scandinavia [ A ] . In: Webby B D, Laurie J R eds. Global Perspectives on Ordovician geology [ C ] . Rotterdam; Balkema. 1992. 381 ~ 394
- 31 Gorter J D. Ordovician petroleum in Australia in relation to eustacy [ A ] . In: Webby B D, Laurie J R eds. Global perspective on Ordovician geology [ C ] . Rotterdam; Balkema. 1992. 433 ~ 444
- 32 Erdtmann B D. Early Ordovician Eustatic Cycles and Their Bearing on Punctuation in Early Nematophorid (Planktonic) Graptolite Evolution [ A ] . In: Walliser O H, ed. Global Bio-Events [ C ] . Lecture Notes in Earth Sciences. 1986, 8; 139 ~ 152
- 33 Woodcock N H. Sequence stratigraphy of the Paleozoic Welsh Basin [ J ] . Journal of the Geological Society of London. 1990, 147; 537 ~ 547
- 34 Mannil R. The Ordovician of Estonia [ A ] . In: Kaljo D, Nestor H, eds. Field Meeting, Estonia Institute of Geology, Estonia Academy of Sciences. Subcommission on Ordovician Stratigraphy and Subcommission on Silurian Stratigraphy [ C ] . IUGS, Estonia Academy of Sciences. 1990. 11 ~ 26
- 35 Nielson A T. International Correlation of the Arenigian (Early Ordovician) Based Sequence and Ecostratigraphy [ A ] . In: Webby B D, Laurie J R eds. Global perspectives on Ordovician geology [ C ] . Rotterdam; Balkema. 1992. 367 ~ 379
- 36 Dronov A V, Koren T N, Popov L E, *et al.* Uppermost Cambrian and Lower Ordovician in Northwestern Russia; Sequence Stratigraphy, Sea Level Changes and Bio-events [ A ] . In: Cooper J D, Drosner M L, Finney S C, eds. Ordovician Odyssey, SEPM Pacific Section, Las Vegas; University of Nevada [ C ] . 1995. 319 ~ 322
- 37 Bressi M S. Ordovician cycles and sea-level fluctuation in the Precordillera terrane, Western Argentina [ A ] . In: Webby B D, Laurie J R eds. Global perspectives on Ordovician geology [ C ] . Rotterdam; Balkema. 1992. 337 ~ 344
- 38 Baldis B A, Martinez R D, Pereyra M E, *et al.* Ordovician events in the South American Andean Platform [ A ] . In: Webby B D, Laurie J R eds. Global perspectives on Ordovician geology [ C ] . Rotterdam; Balkema. 1992. 345 ~ 354
- 39 Heredia S, Bressi M. Ordovician Events and Sea Level Changes on the Western Margin of Gondwana: The Argentine Precordillera [ A ] . In: Cooper J E, ed. Ordovician Odyssey, Pacific Section SEPM, Las Vegas; University of Nevada [ C ] . 1995. 315 ~ 318

## A Reliable Example for Eustacy Ordovician Sequence Stratigraphy on the Southeastern Margin of the Upper Yangtze Platform

SU Wen-bo<sup>1</sup> LI Zhi-ming<sup>2</sup> CHEN Jian-qiang<sup>1</sup>  
GONG Shu-yun<sup>2</sup> LI Quan-guo<sup>3</sup> GAO Yong-qun<sup>2</sup>

<sup>1</sup>(School of Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083)

<sup>2</sup>(Faculty of Earth Sciences, China University of Geosciences, Wuhan 430074)

<sup>3</sup>(Beijing Natural Museum, Beijing 100050)

### Abstract

On the basis of the synthetic studies, especially the identification of the key surfaces within the Ordovician sequences (SB, FFS or TS, *ms*) and the representative facies-successions in different facies zones, including platform-interior, platform-margin, and shelf-basin, exposed at the adjacent region of NW Hubei and SW Hunan on the southeastern margin of the Upper Yangtze Platform in South China, eighteen depositional sequences and the corresponding nineteen regression events are recognized.

According to the recent study of the Ordovician stratigraphy, the average time duration of the sequences are estimated to be from 2Ma to 5Ma generally. It is probable that all of the sequences are of 3rd-order sequences and sea-level fluctuations. The eighteen sequences may be subdivided into three groups, including the type I and II (Vail & Mitchum 1977; Wilgus *et al.* 1988) and type D (the drowning sequence) (Schlager 1981; Steinhauff & Walker 1995), based on the research of benthic faunal assemblages, depositional facies and diagenesis processes of the carbonate deposits, as well as the pattern analysis of the temporal and the spatial distributions of the sequences in different facies-zones during the Ordovician. Altogether, three type I, thi-