

湖南奥陶纪沉积演化特征

葛祥英^{1,2} 牟传龙^{1,2} 周恳恳^{1,2} 梁薇^{1,2}

(1. 中国地质调查局成都地质调查中心, 四川 成都 610081;

2. 国土资源部沉积盆地与油气资源重点实验室, 四川 成都 610081)

摘要:根据湖南地区奥陶纪沉积地层的野外考察和室内分析,并总结吸收前人对该区的研究成果,将湖南奥陶纪的构造沉积演化划分成了早奥陶世镶边型碳酸盐台地-陆棚-深水盆地、中奥陶世碳酸盐缓坡-陆棚-深水盆地、晚奥陶世早期碳酸盐缓坡-陆棚-深水盆地-陆棚边缘、晚奥陶世晚期局限浅海-深水盆地-陆棚边缘4个沉积阶段。处于扬子克拉通内的湘西北地区经历了镶边型台地-碳酸盐缓坡-局限浅海的演化阶段,沉积岩性也由碳酸盐岩逐渐被黑色泥页岩沉积所替代。位于克拉通边缘及华夏陆块之上的湘中、湘南地区则始终处于碎屑浅海沉积环境,盆地中心由南东向北西不断迁移。

关键词:湖南;奥陶纪;沉积演化

中图分类号:P534.42 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-3657(2013)06-1829-13

现今的华南地区大致沿绍兴—江山—萍乡—郴州一线为界分为扬子陆块和华夏陆块^[1-5],湖南地区地处两陆块过渡位置^[6],其沉积演化也相对复杂。中晚奥陶世开始的加里东运动对于整个华南、尤其是湖南地区的沉积构造演化起到了决定性的作用。受该构造运动的影响,华夏地块大面积反转,褶皱隆升成陆,隶属该陆块的湘中、湘南地区以陆缘碎屑浊积岩为主;同样地,扬子陆块也由克拉通盆地转为前陆盆地沉积;在构造上属于扬子陆块的湘西北地区在奥陶纪时期由碳酸盐台地逐渐变为局限的碎屑浅海沉积。可以说,整个奥陶纪湖南地区无论从构造属性还是沉积岩性方面均发生了重大转变,详细研究该地区奥陶纪的演化特征对于探讨整个华南地区早古生代的沉积演化能够提供重要的科学依据。

1 地层划分对比

湖南地区的奥陶系发育比较完整,露头良好,化石丰富。以生物、环境为主要依据,同时结合岩性、构造等方面的特点,湖南地区可分为湘西北、湘中和湘南3个地层区^[7-8]。湘西北区位于桃源、沅陵、怀化一线以北及以西地区,区内沉积以介壳相的碳酸盐岩为主,主要岩石类型有结晶灰岩、白云质灰岩、泥灰岩夹页岩、砂质页岩;湘中区位于湘西北区以南,其南界为双峰、邵阳、绥宁一线,区内沉积物以碎屑岩为主,间夹泥灰岩等碳酸盐岩,生物群以笔石为主,三叶虫、腕足类次之;湘南区包含了湘中区以南的全部省内地区,主要为纯笔石相的泥砂质沉积,形成了巨厚的类复理石建造(图1)。多年来,国内外许多地

收稿日期:2013-01-11;改回日期:2013-08-29

基金项目:国家重大科技专项(2011ZX05043-005)、中国地质调查局项目(1212011120112)和中石化股份有限公司勘探南方分公司页岩气资源评价项目联合资助。

作者简介:葛祥英,女,1986年生,硕士,助理工程师,主要从事沉积学与盆地分析工作;E-mail:gexiangying-2006@163.com。

通讯作者:牟传龙,男,1965年生,研究员,博士生导师,主要从事沉积地质与油气地质研究;E-mail:cdmchuanlong@163.com。

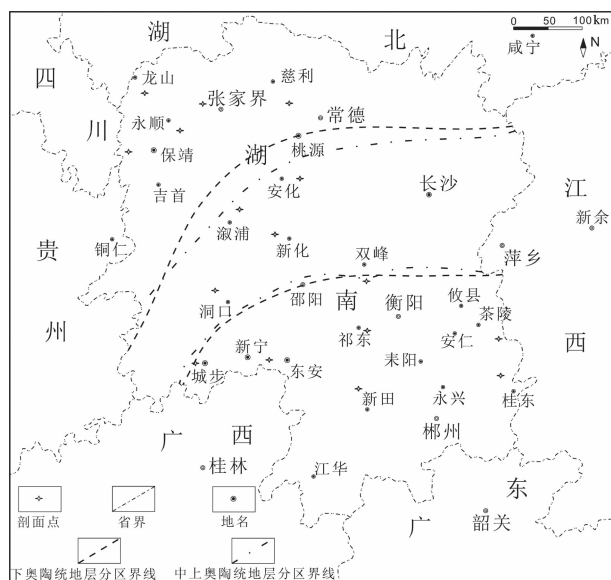


图1 湖南奥陶系分区图(据文献[8]修改)
Fig.1 Map showing Ordovician stratigraphic divisions of Hunan Province (modified after reference[8])

质学家对奥陶系进行了大量的研究,建立了较为准确的牙形石和笔石生物地层对比标志^[9-14]。笔者根据全球最新的奥陶系三统七阶的划分方案,以生物地层为依托,并结合研究区的沉积演化特征建立了湖南地区奥陶系的划分对比格架(表1)。

2 奥陶纪沉积特征

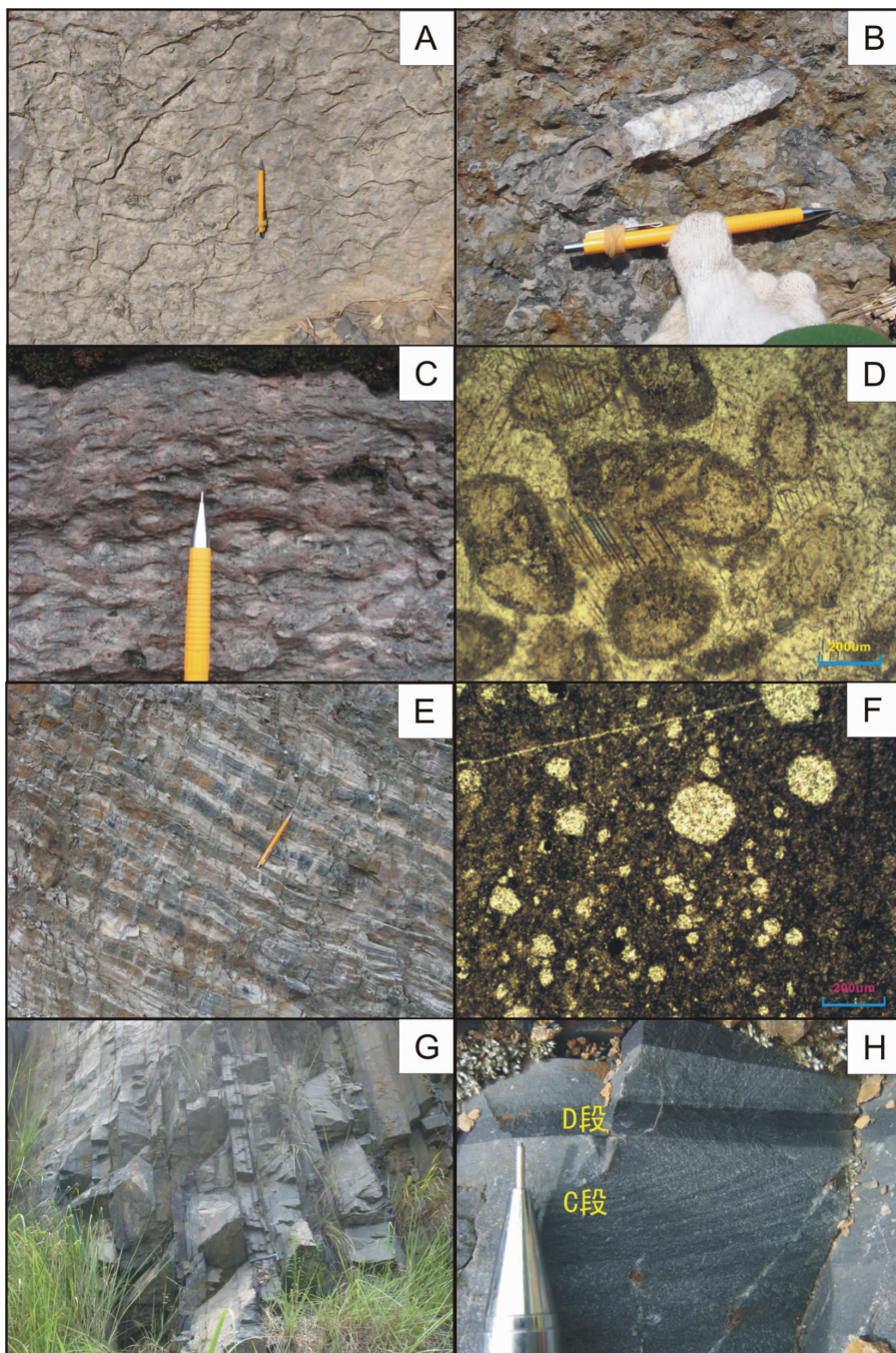
2.1 早奥陶世

在南华纪填平补齐沉积充填的基础上,扬子克拉通由于受到海平面的变化及上升洋流的影响,开始广泛沉积盖帽碳酸盐岩,随着碳酸盐岩的迅速堆积和不断推进,在早奥陶世形成了早古生代以来最大的、具镶边特征的碳酸盐台地^[5,15-16]。在湘西北龙山、秀山一带沉积了南津关组、分乡组和红花园组。岩性主要为青灰色中厚层状结晶灰岩、白云质灰岩,底部见少量白云岩,向上灰岩增多,分乡组顶部灰岩中偶夹几层薄层状钙质泥页岩,主体为开阔台地环

表1 湖南地区奥陶系划分及对比^[11-14]

Table 1 Stratigraphic correlation of Ordovician strata in Hunan Province^[11-14]

国际划分	国际阶段	国际时限	Ma	中国标准	笔石带	牙形刺带	湖南									
							湘西北	湘中	湘南							
				阶代号		地层	张家界温塘	桃源九溪	安化毛铺子	双峰天马山	祁东石门口	新田糟头源	桂东龙渣	东安大庙口		
奥陶系	上统	赫南特阶	1.9	443.7	<i>N. persculptus</i>	A. ordovicicus	S龙马溪组	S龙马溪组	S周家溪群	D跳马涧组	D跳马涧组	D跳马涧组	D跳马涧组	D跳马涧组	苏水冲组	
		凯迪阶	10.2	445.6	<i>N. extraordinarius</i> <i>Paraorth. pacificus</i> <i>Dicel. complexus</i> <i>Dicel. complanatus</i> <i>Dicel. elegans-O. Quadrimucronatus</i>		五峰组	五峰组	五峰组	天马山组	天马山组	天马山组	天马山组	天马山组		
		桑比阶	5.1	455.8	<i>P. insculptus</i> <i>G. pyamaeus</i> <i>Displacanth. spiniferus</i>	临湘组	临湘组	南石冲组	城步组	城步组	城步组	城步组	城步组			
		中统	达瑞威尔阶	7.2	460.9	<i>Dicran. clinqani</i> <i>Cl. wilsoni</i> <i>Cl. bicornis</i> <i>Nem. gracilis</i>	A. tvaerensis*	宝塔组	宝塔组	磨刀溪组	双家口组	双家口组	双家口组	双家口组	双家口组	
			大坪阶	3.7	468.1	<i>Gym. jinnarssonii/Hust. teretiusculus</i> <i>D. murchisoni/P. elegans</i> <i>Nicol. fasciculatus</i> <i>Ac. ellesae</i> <i>U. austrodentatus</i> <i>Esigr. clavus</i> <i>I. climitatus/Exp. hirundo</i>		牯牛潭组	九溪组	烟溪组	百马冲组	百马冲组	百马冲组	百马冲组	百马冲组	
	弗洛阶		6.8	471.8	<i>L. varibilis</i> <i>L. antiavirabilis</i> <i>M. parva-B. norrlandicus</i> <i>P. originalis</i> <i>B. navis</i> <i>B. triangularis</i>	大湾组	乔亭子组		宁国组	七溪岭组	七溪岭组	七溪岭组	七溪岭组			
	下统	特马豆克阶	9.7	478.6	O ₁ ²	<i>O. evae</i>	红花园组	马刀靖组								
						O ₁ ¹	<i>P. elegans-O. communis</i> <i>S. diversus-P. proteus</i>	分乡组								
					O ₁ ⁰	<i>Hun. copiosus</i> <i>Aorogr. vocativer</i> <i>R. f. anglica</i> <i>An. matanensis</i> <i>R. f. parabola</i>	南津关组	探溪组	白水溪组	印渚埠组	爵山沟组	爵山沟组	爵山沟组	爵山沟组	爵山沟组	
					488.3		下伏地层	追屯组	探溪组	田家坪组	寒武系上统	塔山群	塔山群	塔山群	寒武系上统	



图版 I

A—宝塔组龟裂纹灰岩(龙山红岩溪); B—宝塔组龟裂纹灰岩中发育的角石(龙山红岩溪);
 C—大湾组瘤状灰岩(永顺吊井); D—红花园组亮晶砂屑灰岩(永顺吊井);
 E—百马冲组互层状炭、硅质页岩(祁东石门口); F—硅质页岩中发育的放射虫化石(新田槽头源);
 G—天马山组砂岩夹泥板岩韵律(茶陵回岭); H—鲍马序列 CD 段(茶陵回岭)

Plate I

A—"Chap-cracked" limestones in Baota Formation (Hongyanxi, Longshan); B—Sinoceras developed in "chap-cracked" limestones (Hongyanxi, Longshan); C—Nodular limestones in Dawan Formation (Diaojing, Yongshun); D—Sand-clastic limestone in Honghuayuan Formation (Diaojing, Yongshun); E—Interbeds of carbonaceous and siliceous slates in Baimachong Formation (Shimenkou, Qidong); F—Radiolarites developed in siliceous slates (Caotouyuan, Xintian); G—Sand stones interbedded with argillites in Tianmashan Formation (Huiling, Chaling); H—Bouma C-D sequence (Huiling, Chaling)

龙山红岩溪 452.7 m 永顺吊井 395 m 张家界温塘 387.5 m 新化炉观 412.7 m 祁东前龙 220 m 宁远沙子田 676 m 茶陵回岭 509.7 m

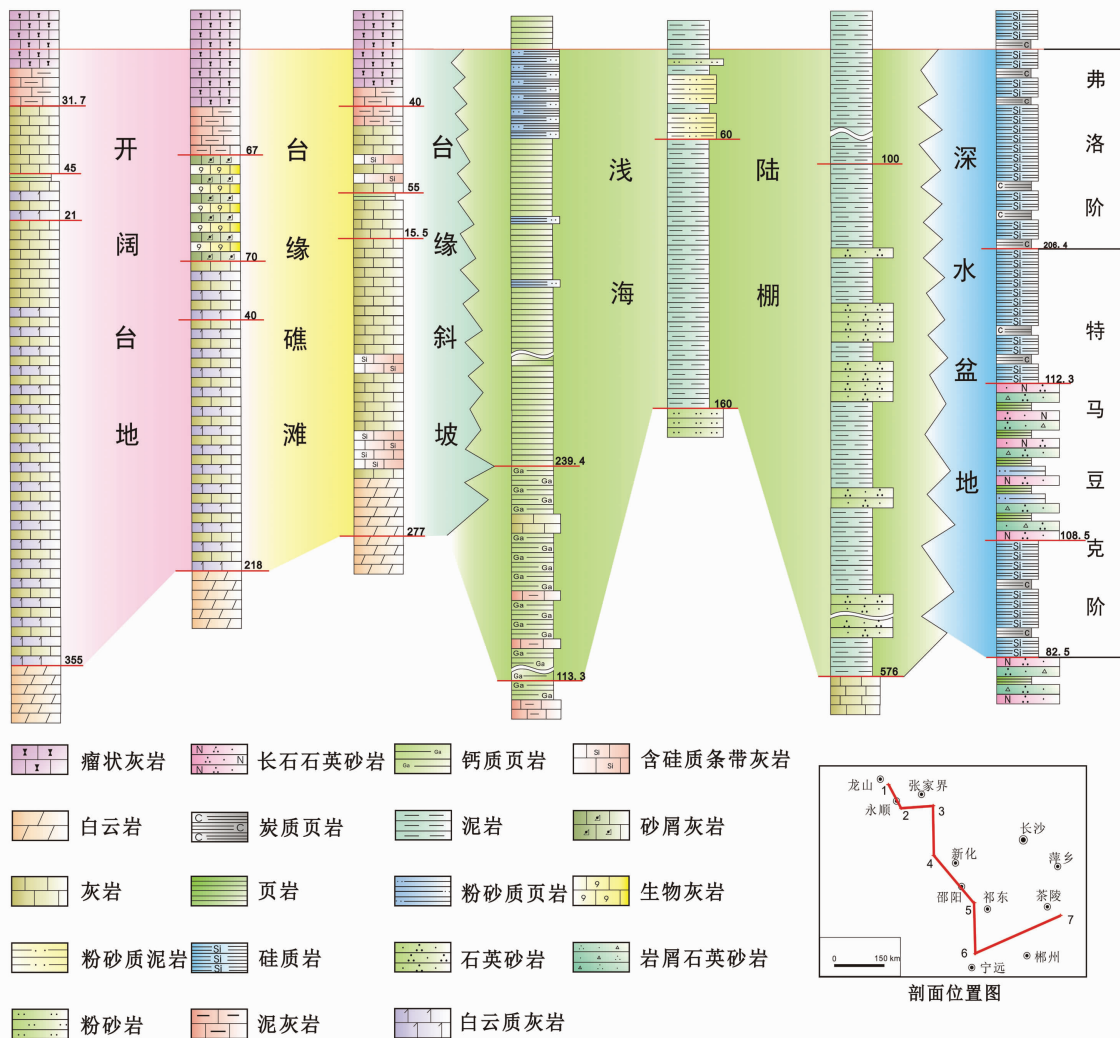


图2 湖南早奥陶世沉积相对比图
Fig.2 Correlation of Early Ordovician sedimentary facies in Hunan

境。永顺、保靖、花垣一线则沉积了生物灰岩、砂屑灰岩和礁灰岩(图版 I -D);生物礁多处可见,主要产于红花园组和分乡组上部,以障积礁和粘结礁为主,主要造礁生物有蓝绿藻、疑源类瓶筐石、苔藓虫和海绵等,附礁生物有棘皮类、腕足类、三叶虫、腹足类、双壳类、介形类等^[17],均为高能环境下形成的颗粒灰岩,为典型的台缘礁滩相沉积。张家界、慈利、桃源一带主要沉积青灰色泥质条带灰岩与粉屑泥晶灰岩,属台地边缘斜坡的低密度浊流沉积,整个湘西北组成了一个具镶边的碳酸盐台地沉积体系^[18]。湘中、湘南地区主要为以细碎屑岩为主的浅海海域(图 2~3)。

在萍乡—攸县—耒阳一线之北西,张家界—慈利之东南沉积主要为白水溪组+桥亭子组下部(印渚埠组+宁国组下部)灰绿色粉砂岩,粉砂质页岩偶夹泥灰岩,宁远、江华一带主要为砂质页岩、页岩;萍乡—攸县—耒阳一线之东南地区为深水盆地环境,沉积了爵山沟组+七溪岭组下部黑色硅质页岩与炭质页岩,在该套岩层中主要发育笔石,硅质页岩中也发现有放射虫(图版 I -F),从其岩性及生态组合推断该地区为早奥陶世湖南地区沉积水体最深的部位。

2.2 中奥陶世

中奥陶世,全球处于温暖气候下的海侵期,海平

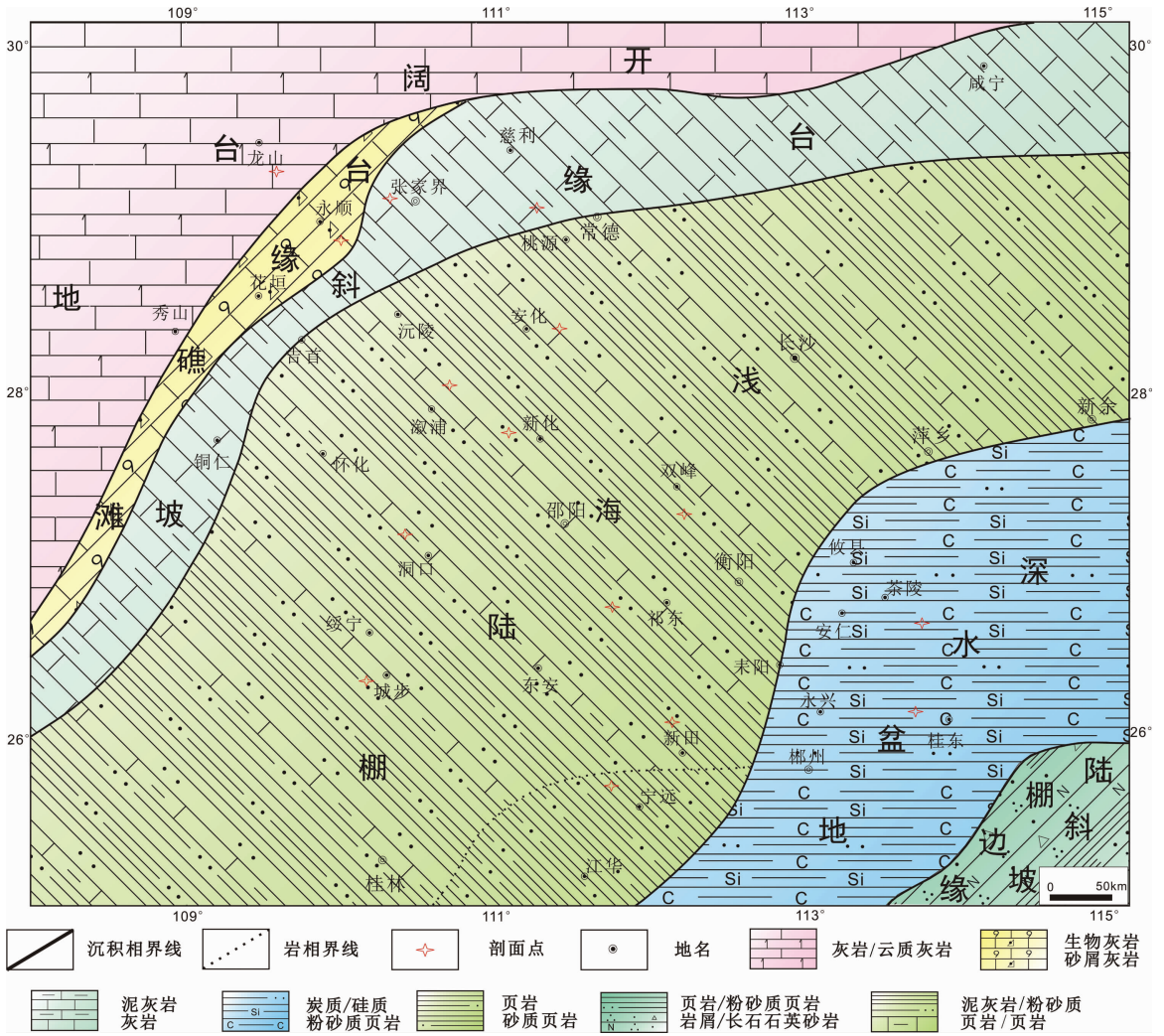


图 3 湖南早奥陶世岩相古地理图

Fig.3 Lithofacies-aleogeographic map of Early Ordovician strata in Hunan area

面快速上升,限制了陆源碎屑物质的大规模注入,使得海底缺氧环境得以保存^[19]。沉积水体的不断加深使得湘西北张家界、永顺一带镶边型的碳酸盐台地被“淹没”,变为碳酸盐岩缓坡环境^[15,18,20],沉积了大湾组和牯牛潭组紫红色、青灰色瘤状灰岩(图版 I -C)及泥灰岩,高能的颗粒灰岩等反映台地边缘相的沉积物消失,湘南地区黑色炭硅质页岩沉积范围逐渐扩大^[21],向北西扩至衡阳—东安一带(图 4~5),湘中一带依旧以粉砂岩、粉砂质页岩、页岩沉积为主。

2.3 晚奥陶世早期(桑比期—凯迪早期)

晚奥陶世早期,随着扬子陆块与华夏陆块挤压碰撞的加剧,隆起区不断扩大,构造掀斜效应进一步加大^[1-2,15,20,23],从而导致海平面持续上升,湘西北变为

深水碳酸盐缓坡^[14,22],沉积了一套发育有大量角石化石的宝塔组“龟裂纹”灰岩(图版 I -A、B)和临湘组“瘤状”灰岩,到湘中新化、安化一带沉积水体相对加深,沉积了磨刀溪组和南石冲组的灰绿色砂质板岩、板岩夹粉砂岩、泥灰岩透镜体,发育水平层理及沙纹层理,具混积陆棚沉积特征,湘中南祁东、新田一带依旧为黑色炭硅质页岩的深水盆地环境(图版 I -E,图 6~7)。湘东南茶陵、桂东一带双家口组和城步组开始接受东南侧隆起的物源供应,沉积厚逾千米的岩屑石英砂岩、长石石英砂岩、砂质板岩和板岩的韵律(图版 I -G),单个韵律中发育有鲍马序列 AE、CD、BCD 等组合(图版 I -H),具典型的浊流沉积特征。

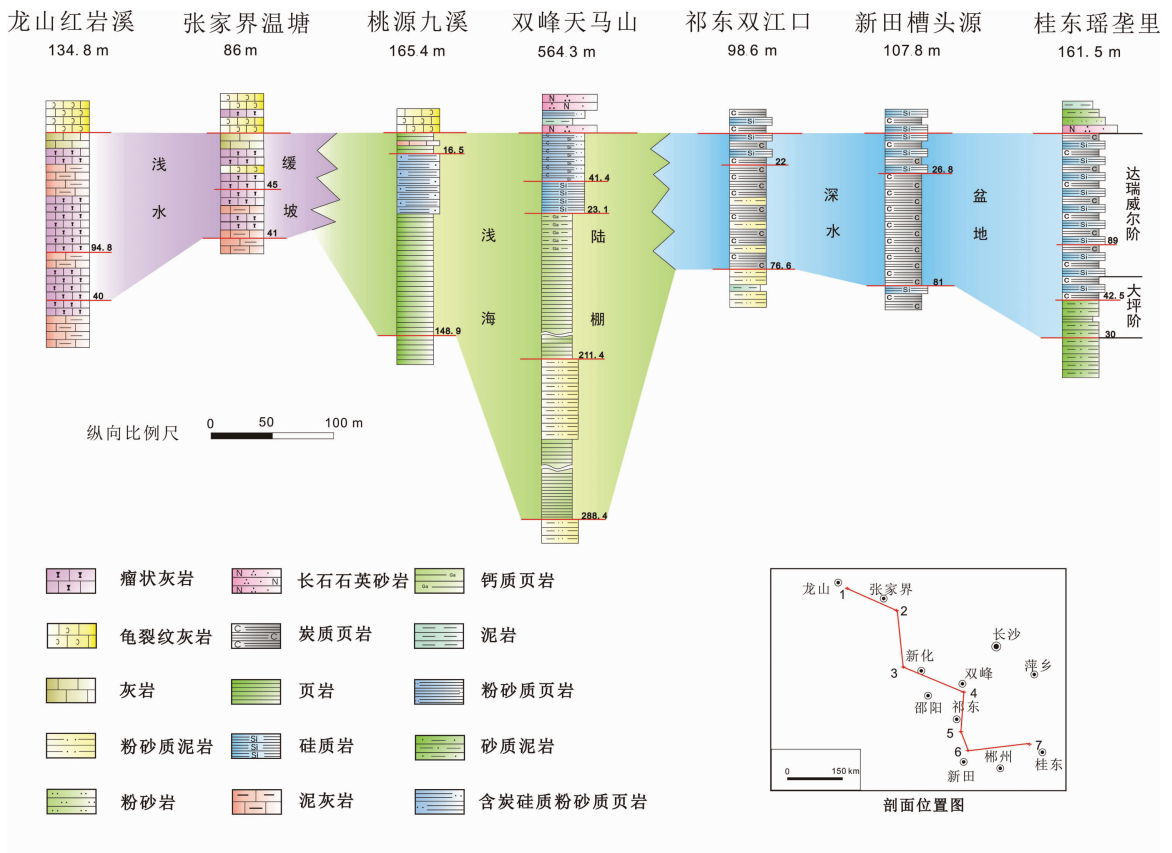


图 4 湖南中奥陶世沉积相对比图
Fig.4 Correlation of Middle Ordovician sedimentary facies in Hunan

2.4 晚奥陶世晚期 (凯迪晚期—赫南特期)

晚奥陶世晚期,黔中隆起、雪峰隆起的不断隆升^[25],湘西北地区由克拉通盆地变为隆后盆地,被各边缘古隆起所围限,沉积了局限浅海相的五峰组黑色炭质页岩、硅质页岩^[5,26-31]。该层位虽然沉积厚度仅几米至十几米,但是分布较为广泛,在整个中上扬子地区均有分布,且有机质丰度均较高,是华南地区很好的烃源岩沉积区(图 8~9)。在湘中安化、洞口一带的五峰组依旧沉积黑色硅质页岩、炭质页岩、粉砂质页岩,但是相对于处在隆后盆地的湘西北地区来说,湘中地区在黔中、雪峰隆起的东南侧,距离外海较近,水体相对通畅,厚度也较湘西北增大,为深水盆地沉积。湘南地区的砂板岩韵律沉积继续发育,到该时期已迁移至湘中双峰天马山一带。

3 湖南奥陶纪沉积演化过程

经历了寒武纪末冷里上升之后,早奥陶世的特

马豆克期发生海侵,湘西北地区在构造位置上属于扬子沉积区,其基底的活动性相对于华夏陆块较为稳定,但也反映了明显的构造影响。早奥陶世,该地区发育以镶边碳酸盐岩台地为主的碳酸盐沉积格局,永顺、花垣一带发育有多个生物礁,高能的亮晶砂屑灰岩、生物灰岩等颗粒灰岩在该地区也相当发育,构成台地边缘礁滩沉积,台地边缘斜坡相发育在张家界、慈利、桃源一带,发育条带状泥灰岩,大致呈北东向展布,其展布范围延至贵州东北、湖北西南地区;湘中地区沉积了灰绿色泥板岩、粉砂质板岩等陆源细碎屑岩,属浅海陆棚沉积(图 10),湘南地区则主要为黑色硅质页岩与炭质页岩互层为特征的深水盆地环境。中奥陶世以后,受加里东运动的影响,除扬子北缘仍保持被动大陆边缘属性之外,其他地区均为挤压隆升的构造背景^[15]。随着黔中、雪峰等水下隆起的不断扩大及其相应的构造掀斜效应^[1,23],导致中上扬子区相对海平面持续上升,海水不断加深,沉

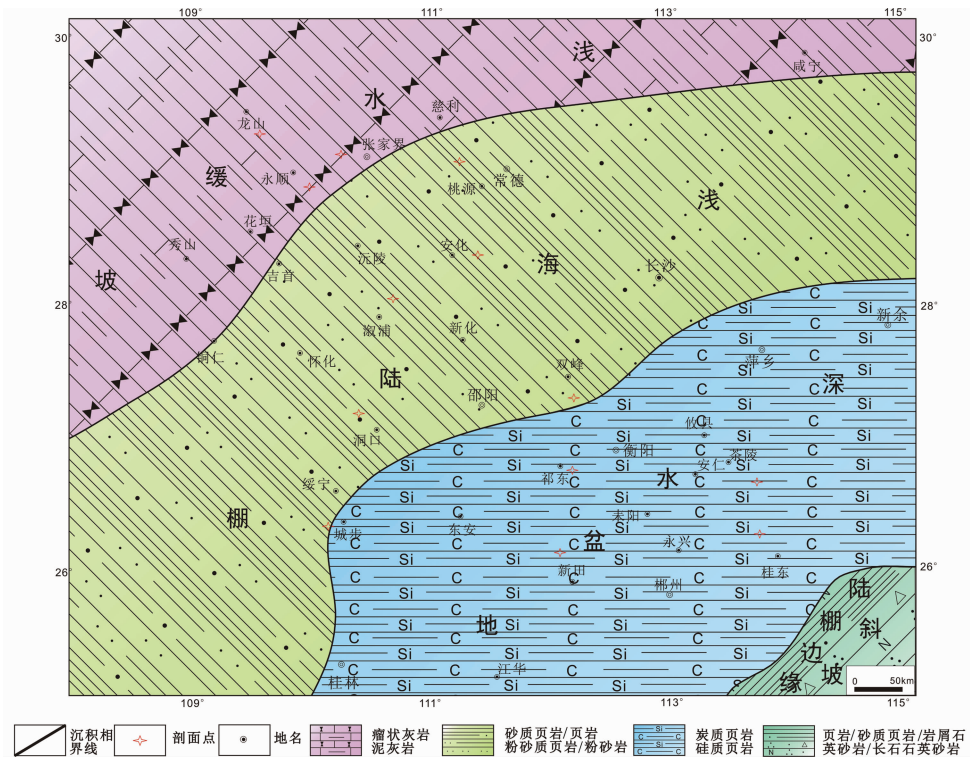


图 5 湖南中奥陶世岩相古地理图

Fig.5 Lithofacies-paleogeographic map of Middle Ordovician strata in Hunan area

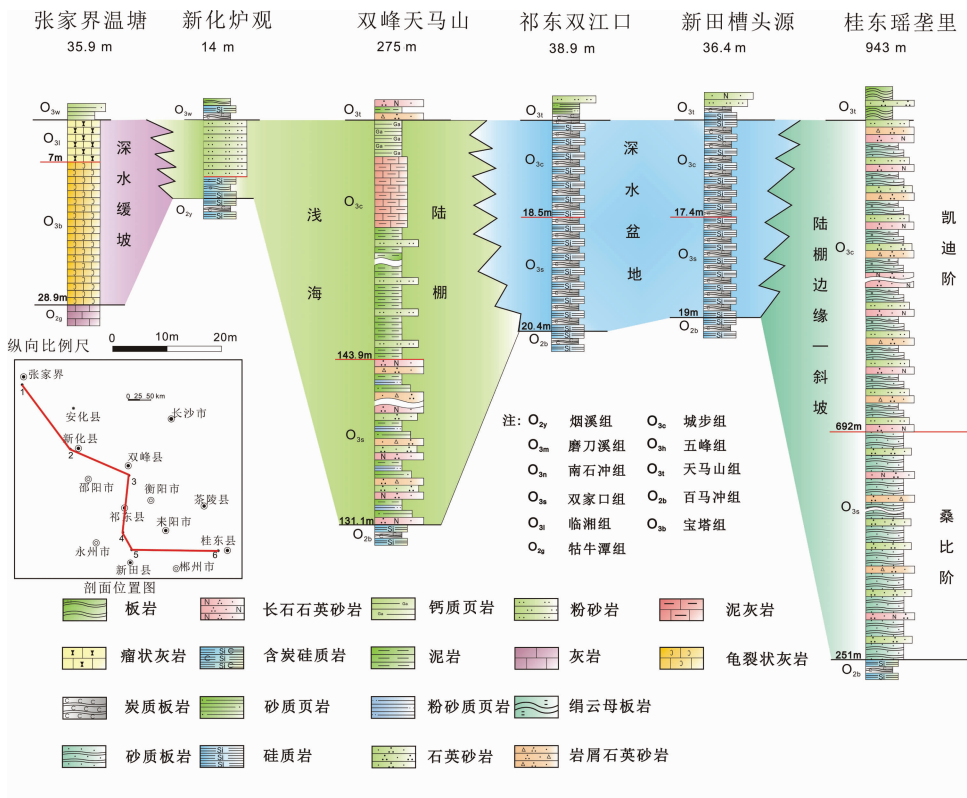


图 6 湖南晚奥陶世桑比期—凯迪早期沉积相对比图

Fig.6 Correlation of sedimentary facies of Late Ordovician Sandbian-early Katian period in Hunan

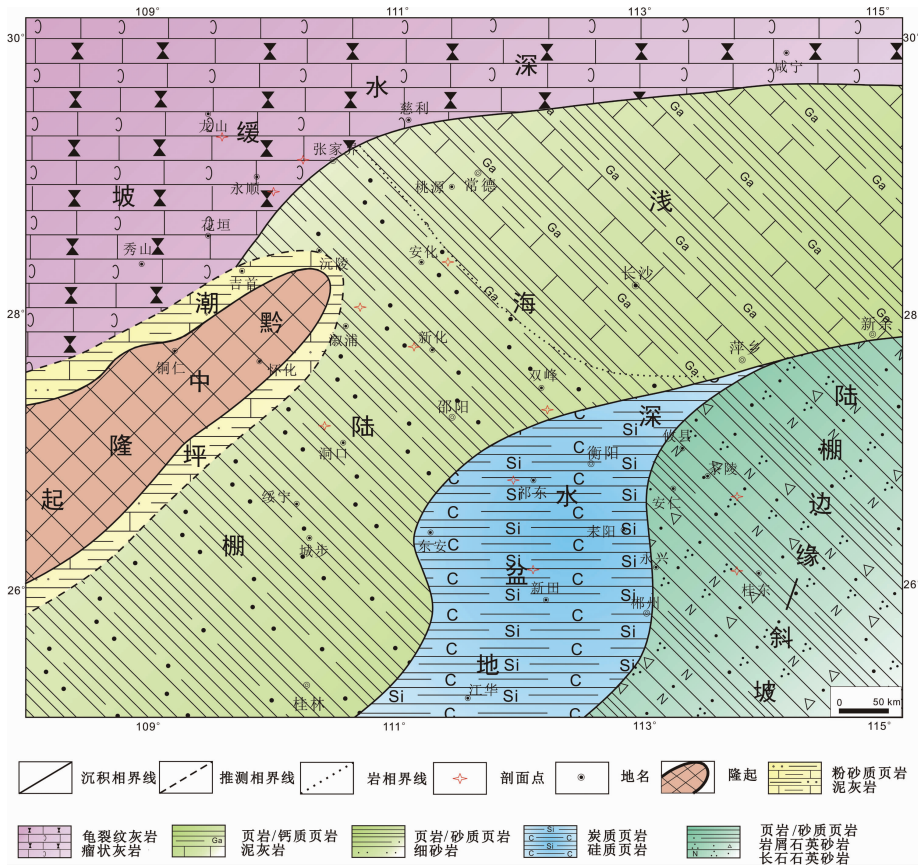


图7 湖南晚奥陶世桑比期-凯迪期早期岩相古地理图

Fig.7 Lithofacies-paleogeographic map of Late Ordovician Sandbian-early Katian period in Hunan

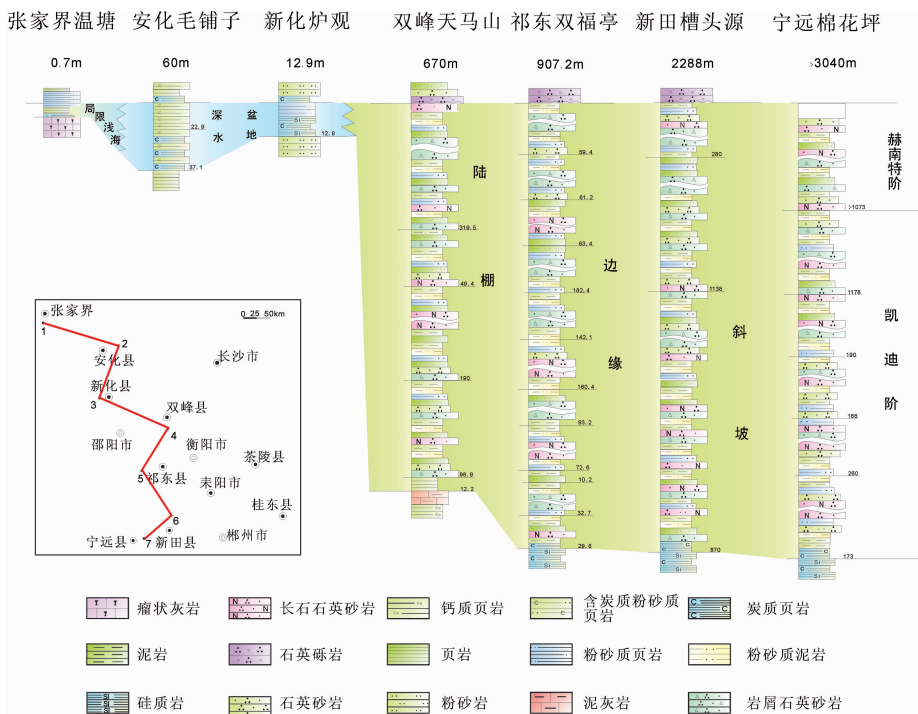


图8 湖南地区晚奥陶世凯迪晚期-赫南特期沉积相对比图

Fig.8 Correlation of sedimentary facies of Late Ordovician late Katian-Himantian period in Hunan

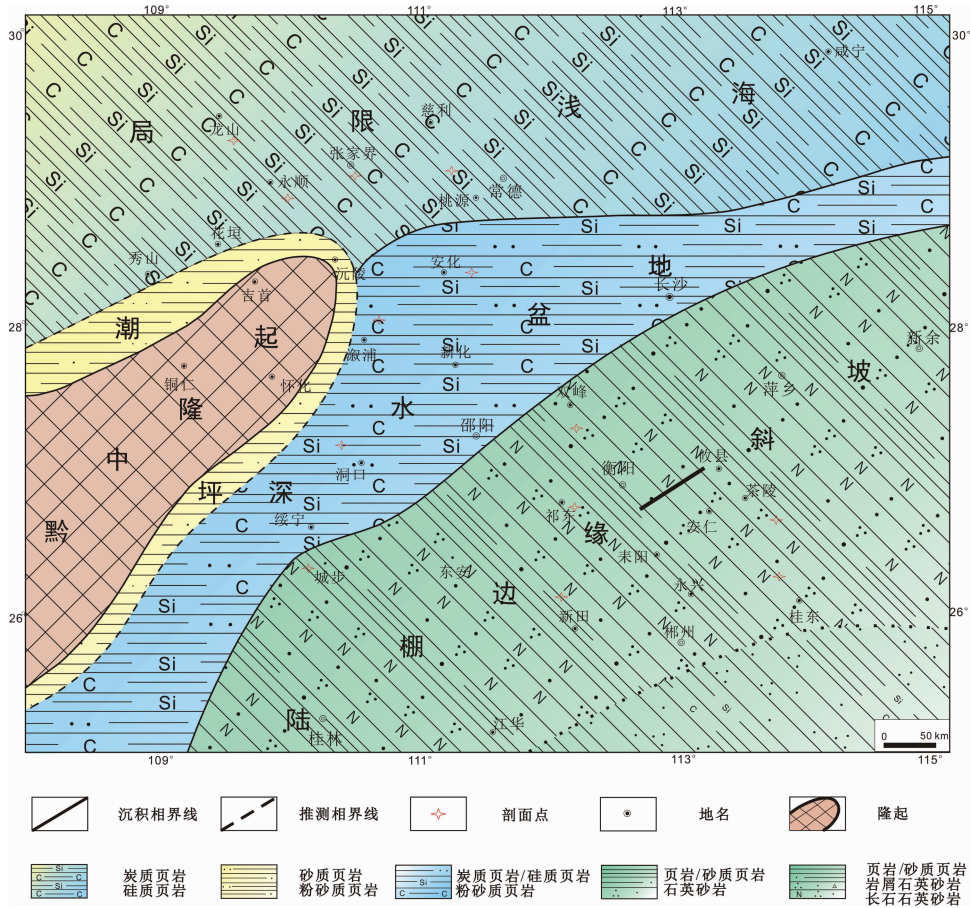


图 9 湖南地区晚奥陶世凯迪期晚期-赫南特期岩相古地理图

Fig.9 Lithofacies-paleogeographic map of Late Ordovician late Katian and Himantian period in Hunan

积高能碳酸盐岩的台缘浅滩相消失, 湘西北地区在空间上表现为一个由北西向南东方向逐渐倾斜、水体逐渐变深的碳酸盐岩缓坡^[15,18,20], 沉积了一套发育有大量角石化石的“龟裂纹”灰岩、瘤状灰岩和泥灰岩为代表的缓坡沉积, 并一直延续到晚奥陶世早期。湘中和湘南地区仍为浅海陆棚及深水盆地沉积, 但由于海水的加深, 浅海陆棚范围相对缩小, 沉积黑色炭质页岩、硅质页岩的深水盆地范围在此时达到最大, 盆地中心相应地向北西迁移。晚奥陶世早期, 由于华夏陆块的推挤碰撞, 东南方向隆起不断抬升扩大, 为湘中及湘南地区提供了大量的陆源碎屑, 厚逾千米的岩屑石英砂岩、长石石英砂岩、砂质板岩、板岩的类复理石韵律开始沉积于湘东南地区茶陵、桂东一带。晚奥陶世末期, 随着黔中隆起、雪峰隆起等边缘古隆起的不断扩大, 碳酸盐台地演化结束, 进入碎屑岩陆棚演化阶段, 湘西北地区在该时期被不断

抬升的边缘古隆起所围限形成大面积的局限浅海环境, 沉积了黑色炭硅质页岩。湘南地区大套的砂板岩韵律沉积不断向北西方向迁移, 由原来的湘东南迁移至湘中双峰一带。深水盆地相也由原来的湘中南祁东、新田一带向湘中迁移。

4 结论

受加里东运动影响, 湖南地区奥陶纪沉积演化相对复杂, 笔者通过详细的野外剖面考察和室内薄片分析研究, 在总结吸收前人研究成果的基础上, 将其划分成了 4 个沉积阶段: 早奥陶世镶边型碳酸盐台地-陆棚-深水盆地、中奥陶世碳酸盐缓坡-陆棚-深水盆地、晚奥陶世早期碳酸盐缓坡-陆棚-深水盆地-陆棚边缘、晚奥陶世晚期局限浅海-深水盆地-陆棚边缘。4 个沉积阶段的结束, 湘西北完成了由碳酸盐向陆缘碎屑浅海沉积的转变, 湘中湘南地

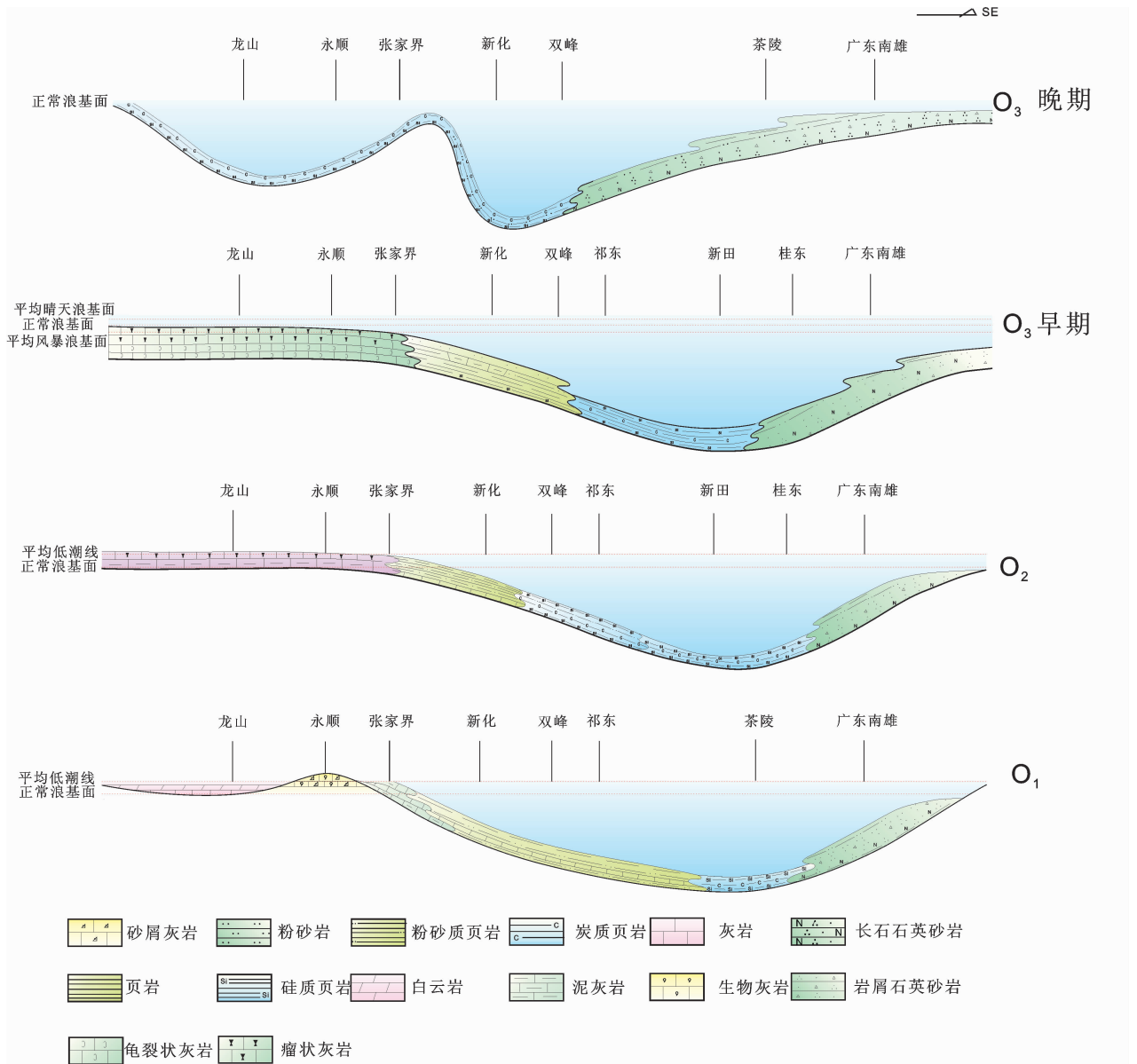


图 10 湖南奥陶纪沉积演化
Fig.10 Ordovician sedimentary evolution in Hunan

区虽然一直处在碎屑浅海沉积环境中，但其盆地中心也由湘东南不断地迁移到湘中地区。

致谢: 非常感谢陈小炜、康建威工程师在野外工作中给予的指导及建议。

参考文献 (References):

[1] 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: 30-35
Liu Baojun, Xu Xiaosong, Pan Xingnan, et al. The Editorial Broad for Collected Works of Lithofacies and the Crustal Evolution of

South China Palaeocontinents[M]. Beijing: Science Press, 1993: 30-35(in Chinese).
[2] 许效松, 刘宝珺, 楼雄英, 等. 中国中西部海相沉积盆地分析与油气资源[M]. 北京: 地质出版社, 2004: 1-19.
Xu Xiaosong, Liu Baojun, Lou Xiongying, et al. Marine Sedimentary Basins' Analysis and Oil and Gas Resources in the Middle-Western China [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2004: 1-19(in Chinese).
[3] 马力, 陈焕疆, 甘克文, 等. 中国南方大地构造和海相油气地质[M]. 北京: 地质出版社, 2005: 104-135.
Ma Li, Chen Huanjiang, Gan Kewen, et al. Geotectonics in South

- China and Marine Oil and Gas Geology [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2005: 104-135(in Chinese).
- [4] 马永生, 陈洪德, 王国力, 等. 中国南方层序地层与古地理[M]. 北京: 科学出版社, 2009.
- Ma Yongsheng, Chen Hongde, Wang Guoli, et al. Paleogeography and Sequence Stratigraphy of South China [M]. Beijing: Science Press, 2009(in Chinese).
- [5] 牟传龙, 许效松. 华南地区早古生代沉积演化与油气地质条件[J]. 沉积与特提斯地质, 2010, 30(3): 24-29.
- Mou Chuanlong, Xu Xiaosong. Sedimentary evolution and petroleum geology in South China during the Early Palaeozoic [J]. Sedimentary Geology and Tethyan Geology, 2010, 30 (3): 24-29(in Chinese with English abstract).
- [6] 庞维华, 丁孝忠, 高林志, 等. 湖南下寒武统层序地层特征与古环境演化变迁[J]. 中国地质, 2011, 38(3): 560-576.
- Pang Weihua, Ding Xiaozhong, Gao Linzhi, et al. Characteristics of Sequence Stratigraphy and Palaeoenvironmental Evolution of Lower Cambrian strata in Hunan Province [J]. Geology in China, 2011, 38 (3): 560-576(in Chinese with English abstract).
- [7] 湖南省地质矿产局. 湖南地层[M]. 长沙: 湖南省地质矿产局四零二队印刷厂, 1986: 151-227.
- Bureau of Geology and Mineral Resources of Hunan Province. The Strata of Hunan [M]. Changsha: Hunan Bureau of Geology and Mineral Resources 402 Geological Team Publishing House, 1986: 151-227(in Chinese).
- [8] 湖南省地质矿产局. 湖南省区域地质志 [M]. 北京: 地质出版社, 1988: 62-86.
- Bureau of Geology and Mineral Resources of Hunan Province. Regional Geology of Hunan Province [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1988: 62-86(in Chinese).
- [9] 安太祥. 中国南部早古生代牙形石 [M]. 北京: 北京大学出版社, 1987: 31-83.
- An Taiyang. The Early Paleozoic Conodonts in the South China [M]. Beijing: Peking University Press, 1987: 31-87(in Chinese)
- [10] 陈旭, 戎嘉余. 从生物地层学到大地构造学——以华南奥陶系和志留系为例[J]. 现代地质, 1999, 13(4): 385-389.
- Chen Xu, Rong Jiayu. From biostratigraphy to tectonics——With Ordovician and Silurian of South China as an example [J]. Geoscience, 1999, 9(1):1-7(in Chinese with English abstract).
- [11] 陈旭, 戎嘉余, 张元动, 等. 奥陶纪年代地层学研究综述[J]. 地层学杂志, 2000, 24(1): 18-26.
- Chen Xu, Rong Jiayu, Zhang Yuandong, et al. A commentary on Ordovician chronostratigraphy [J]. Journal of Stratigraphy, 2000, 24 (1): 18-26(in Chinese with English abstract).
- [12] 陈旭, 戎嘉余, 樊隽轩, 等. 扬子区奥陶纪末赫南特亚阶的生物地层学研究[J]. 地层学杂志, 2000, 24(3): 169-175.
- Chen Xu, Rong Jiayu, Fan Juanxuan, et al. Biostratigraphy of the Hirnantian substage in the Yangtze region [J]. Journal of Stratigraphy, 2000, 24 (3): 169-175 (in Chinese with English abstract).
- [13] 陈旭, 戎嘉余, 樊隽轩, 等. 奥陶-志留系界线地层生物带的全球对比[J]. 古生物学报, 2000, 39(1):100-114.
- Chen Xu, Rong Jiayu, Fan Juanxuan, et al. A global correlation of Biozones across the Ordovician -Silurian Boundary [J]. Acta Palaeontologica Sinica, 2000, 39 (1): 100-114 (in Chinese with English abstract).
- [14] 陈旭, 戎嘉余, 樊隽轩, 等. 奥陶系上统赫南特阶全球层型剖面和点位的建立[J]. 地层学杂志, 2006, 30(4): 289-304.
- Chen Xu, Rong Jiayu, Fan Juanxuan, et al. A final report on the global stratotype section and point (GSSP) for the Hirnantian stage (Upper Ordovician)[J]. Journal of Stratigraphy, 2006, 30 (4): 289-304(in Chinese with English abstract).
- [15] 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[M]. 北京: 地质出版社, 1993: 1-96.
- Zhou Mingkui, Wang Ruzhi, Li Zhiming, et al. lithofacies and paleogeography of south China [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1993: 1-96(in Chinese).
- [16] 余谦, 牟传龙, 张海全, 等. 上扬子北缘震旦纪-早古生代沉积演化与储层分布特征[J]. 岩石学报, 2011, 27(3): 672-680.
- Yu Qian, Mou Chuanlong, Zhang Haiquan, et al. Sedimentary evolution and reservoir distribution of northern Upper Yangtze plate in Sinian-Early Paleozoic [J]. Acta Petrologica Sinica, 2011, 27(3): 672-680(in Chinese with English abstract).
- [17] 杨威, 朱忠德, 胡明毅, 等. 湘西北地区早奥陶世生物礁岩成岩作用及储集性[J]. 海相油气地质, 2000, 5(3-4): 61-65.
- Yang Wei, Zhu Zhongde, Hu Mingyi, et al. Diagenesis and reservoir property of early Ordovician reefs in the northwestern Hunan[J]. Marine Origin Petroleum Geology, 2000, 5(3/4): 61-65 (in Chinese).
- [18] 李志明, 陈建强, 龚淑云, 等. 湘西北奥陶纪碳酸盐台缘的变迁与海平面升降[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 1997, 22(5): 479-483.
- Li Zhiming, Chen Jianqiang, Gong Shuyun, et al. Migration of carbonate platform margin and sea level changes of Ordovician in the northwestern Hunan, China [J]. Earth Science——Journal of China University of Geosciences, 1997, 22(5): 479-483(in Chinese with English abstract).
- [19] 江茂生. 湘黔地区中奥陶世海平面上升的沉积响应 [J]. 地质科学, 1998, 33(1): 93-101.
- Jiang Maosheng. Sedimentary response to sea level rise during middle Ordovician in the Guizhou and Hunan Regions[J]. Scientia Geologica Sinica, 1998, 33 (1): 93-101 (in Chinese with English abstract).
- [20] 黄福喜, 陈洪德, 侯明才, 等. 中上扬子克拉通加里东期(寒武-志留纪) 沉积层序充填过程与演化模式 [J]. 岩石学报, 2011, 27 (8): 2299-2317.
- Huang Fuxi, Chen Hongde, Hou Mingcai, et al. Filling process and evolutionary model of sedimentary sequence of Middle -Upper Yangtze craton in Caledonian (Cambrian -Silurian) [J]. Acta Petrologica Sinica, 2011, 27 (8): 2299-2317 (in Chinese with

- English abstract).
- [21] 郑宁, 宋天锐, 李廷栋, 等. 华南造山带下寒武统和中奥陶统发现放射虫[J]. 中国地质, 2012, 39(1): 260-265.
Zheng Ning, Song Tianrui, Li Tingdong, et al. The discovery of the Lower Cambrian and Middle Ordovician Radiolaria in the South China orogenic belt [J]. *Geology in China*, 2012, 39(1): 260-265(in Chinese with English abstract).
- [22] 刘宝珺, 许效松, 夏文杰, 等. 中国南方岩相古地理图集 [M]. 北京: 科学出版社, 1994: 1-188.
Liu Baojun, Xu Xiaosong, Xia Wenjie, et al. *Paleogeographic Atlas of South China* [M]. Beijing: Science Press, 1994: 1-188(in Chinese).
- [23] 许效松, 徐强, 潘桂棠, 等. 中国南大陆演化与全球古地理对比 [M]. 北京: 地质出版社, 1996: 42-63.
Xu Xiaosong, Xu Qiang, Pan Guitang, et al. *The Comparison Between the Continental Evolution of South China and the Global Paleogeography* [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1996: 42-63(in Chinese).
- [24] 葛祥英, 牟传龙, 周恩恩, 等. 湖南晚奥陶世桑比期—凯迪早期沉积特征及沉积模式[J]. 古地理学报, 2013, 15(1): 59-68.
Ge Xiangying, Mou Chuanlong, Zhou Kenken, et al. Sedimentary characteristics and depositional model in the Sandbian-early Katian of Late Ordovician in Hunan Province [J]. *Journal of Palaeogeography*, 2013, 15(1): 59-68(in Chinese with English abstract).
- [25] 李聪, 陈世悦, 张鹏飞, 等. 雪峰陆内多期复合造山带震旦—三叠纪沉积演化特征[J]. 中国地质, 2011, 38(1): 43-51.
Li Cong, Chen Shiyue, Zhang Pengfei, et al. Palaeozoic-Mesozoic sedimentary evolution characteristics of the Xuefeng Mountain intracontinental orogenic belt [J]. *Geology in China*, 2011, 38(1): 43-51(in Chinese with English abstract).
- [26] 穆恩之. 晚奥陶世五峰期扬子板块沉积模式 [J]. 古生物学报, 1954, 2(2): 153-170.
Mu Enzhi. On the Wufeng shale [J]. *Acta Palaeontologica Sinica*, 1954, 2(2): 153-170(in Chinese with English abstract).
- [27] 戎嘉余, 陈旭. 华南晚奥陶世的动物群分异及生物相、岩相分布模式[J]. 古生物学报, 1987, 26(5): 507-545.
Rong Jiayu, Chen Xu. Faunal differentiation, biofacies and lithofacies pattern of Late Ordovician(Ashgillian) in South China[J]. *Acta Palaeontologica Sinica*, 1987, 26(5): 507-545(in Chinese with English abstract).
- [28] 方一亭, 边立曾, 俞剑华, 等. 晚奥陶世五峰期扬子板块沉积模式[J]. 沉积学报, 1993, 11(3): 7-12.
Fang Yiting, Bian Lizeng, Yu Jianhua, et al. Sedimentary environment pattern of Yangtze plate in Wufeng age of Late Ordovician[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1993, 11(3): 7-12(in Chinese with English abstract).
- [29] 牟传龙, 周恩恩, 梁薇, 等. 中上扬子地区早古生代烃源岩沉积环境与油气勘探[J]. 地质学报, 2011, 85(4): 1-7.
Mou Chuanlong, Zhou Kenken, Liang Wei, et al. Early Paleozoic sedimentary environment of hydrocarbon source rocks in the Middle-Upper Yangtze region and petroleum and gas exploration [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2011, 85(4): 1-7 (in Chinese with English abstract).
- [30] 刘伟, 许效松, 冯心涛, 等. 中上扬子上奥陶统五峰组含放射虫硅质岩与古环境[J]. 沉积与特提斯, 2010, 30(3): 65-70.
Liu Wei, Xu Xiaosong, Feng Xintao, et al. Radiolarian siliceous rocks and palaeoenvironmental reconstruction for the Upper Ordovician Wufeng Formation in the Middle-Upper Yangtze area [J]. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 2010, 30(3): 65-70(in Chinese with English abstract).
- [31] 刘伟, 许效松, 余谦, 等. 中上扬子晚奥陶世赫南特期岩相古地理[J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 2012, 39(1): 32-39.
Liu Wei, Xu Xiaosong, Yu Qian, et al. Lithofacies palaeogeography of the Late Ordovician Hirnantian in the Middle-Upper Yangtze region of China [J]. *Journal of Chengdu University of Technology (Natural Science Edition)*, 2012, 39(1): 32-39 (in Chinese with English abstract).

Characteristics of Ordovician sedimentary evolution in Hunan Province

GE Xiang-ying^{1,2}, MOU Chuan-long^{1,2}, ZHOU Ken-ken^{1,2}, LIANG Wei^{1,2}

(1. Chengdu Center of Geological Survey, China Geological Survey, Chengdu 610081, Sichuan, China; 2. Key Laboratory of Sedimentary Basin and Oil and Gas Resources, Ministry of Land and Resources, Chengdu 610081, Sichuan, China)

Abstract: Based on field survey, laboratory analysis of sedimentary strata and summarization of previous research results in Hunan Province, the authors divided the Ordovician tectonic and sedimentary evolution into four stages, i.e., rimmed carbonate platform-shelf-deep water basin in the Early Ordovician, carbonate ramp-shelf-deep basin in the Middle Ordovician, carbonate ramp-shelf-deep water basin-shelf margin at the early age of Late Ordovician, and confined shallow marine-deep water basin-shelf margin in the late period of the Late Ordovician. The northwestern Hunan in Yangtze craton experienced the evolution from the rimmed carbonate platform to carbonate ramp, and finally became a confined shallow sea, with the black shale gradually replacing carbonates in lithology. The central and southern Hunan located at the edge of the craton and the Cathaysia Block was always in a clastic shallow marine environment, and the center of the basin migrated constantly from southeast to northwest.

Key words: Hunan Province; Ordovician; sedimentary evolution

About the first author: GE Xiang-ying, female, born in 1986, master, assistant engineer, engages in sedimentology and basin analysis; E-mail: gexiangying-2006@163.com.

About the corresponding author: MOU Chuan-long, male, born in 1965, senior researcher and supervisor of doctor candidates, engages in the study of sedimentary geology and petroleum geology; E-mail: cdmchuanlong@163.com.