

文章编号 :1000-0550(2000)02-0190-08

川滇黔桂地区石炭系层序地层研究

彭 军¹ 陈洪德¹ 田景春¹ 覃建雄¹ 侯中建¹
杨晓宁² 寿建峰² 沈安江² 陈子焯²

1(成都理工学院沉积地质研究所 成都 610059) 2(杭州石油地质研究所 杭州 310023)

摘 要 川滇黔桂地区石炭系地层发育,其地层划分对比清楚,沉积类型丰富,地表露头良好,是进行层序地层研究的理想场所。本文运用层序地层学的理论和研究方法,在详细的沉积学研究和精细的地层划分对比基础上,对川滇黔桂地区石炭系地层进行了精细的露头层序地层研究,详细阐述了层序建立和各种界面的露头标志,探讨了川滇黔桂地区石炭系地层的层序划分、层序区域对比。在此基础上,建立了研究区石炭系层序地层时空格架示意图。

关键词 层序地层 时空格架 石炭系 川滇黔桂地区

第一作者简介 彭军 男 1968 年出生 博士 讲师 沉积学

中图分类号 P539.2 **文献标识码** A

1 引言

层序地层学原理自 70 年代末期由 Exxon 石油公司的 Vail 等人提出后,经众多学者的发展和完善,已形成较完整的理论体系^[1],并在实际应用中获得重大成功^[2,3],成为国内外地学界瞩目的一个研究热点。但是对于碳酸盐岩层序地层研究还相对薄弱,有关沉积层序级别划分、海平面变化驱动机制和不同相带间层序对比方面,也存在着许多不同认识。

本文正是运用露头层序地层学的有关理论和研究方法,在详细的沉积学研究和精细的地层划分对比基础上,对川滇黔桂地区石炭系碳酸盐岩地层进行了露头层序地层研究。

2 地质背景

研究区位于东经 102°~112°,北纬 21°~32°的川、滇、黔、桂四省区。石炭纪时,中国南部出现南方板块、北方板块、南海板块、东南板块四大板块分立的古构造格局,以南方板块为中心,研究区主体位于南方板块的扬子陆块上,桂东一带位于华夏陆块的华夏陆缘拗陷地带,桂南钦州、防城一带位于钦防残余海槽^[4]。受古构造格局、沉积作用、基底性质及同生断裂活动等因素的影响,发育上扬子克拉通盆地、右江被动陆缘裂谷盆地、钦防深水走滑盆地及华夏陆缘拗陷盆地等四个盆地类型。

研究区石炭系是我国石炭系发育最好,研究程度最高的地区之一,其沉积类型多样,岩相分异显著,许

多剖面完整连续,成为我国标准地层系统和地层分类的基础,同时也是研究层序地层的理想场所,近年来已有学者对此开展了工作^[5,6,7,8]。岩石类型除下统部分地区出现较多的碎屑岩、硅灰岩外,其余均以碳酸盐岩为主,特别是晚石炭世,除了古陆区及其边缘狭窄的混积相带以及台沟深水区的硅灰泥带外,广大沉积区内,几乎是碳酸盐岩一统天下。岩石中生物化石极其丰富,以底栖腕足、珊瑚及蜓类为主,并建立了可进行区域性对比的化合组合带^[9]。根据生物化石组合情况,将研究区石炭系划分为两统、五阶。下统包括岩关阶、大塘阶,上统包括滑石板阶、达拉阶、马平阶。其所对应的岩石地层单元在不同沉积盆地因沉积特征、沉积类型及沉积相不一样而命名也不同,即使在同一盆地中,受同沉积断裂活动的影响,不同相带其沉积特征也差异极大。

3 层序地层分析

3.1 层序地层划分

根据露头层序地层原理及工作方法,重点考虑关键性界面,区域追踪对比性、相序变化特征及准层序叠置型式、不同盆地类型尤其是上扬子克拉通盆地(图 1)和被动陆缘裂谷盆地(图 2)的层序地层特征,生物化石带并结合层序的碳氧同位素特征(图 3),将石炭系划分出 10 个沉积层序单元,分别命名为 S₁~S₁₀,其中岩关阶 2 个、大塘阶 3 个、滑石板阶 1 个、达拉阶 1 个、马平阶 3 个,平均延时约 7.25Ma。按底界面性质

可区分出 5 个 I 型层序(S_1 、 S_3 、 S_6 、 S_9 、 S_{10})和 5 个 II 型层序。当然并不是每一个剖面都具完整的 10 个层序,如上扬子古陆南缘的贵阳乌当等地的石炭系就缺失岩关阶的 2 个层序。

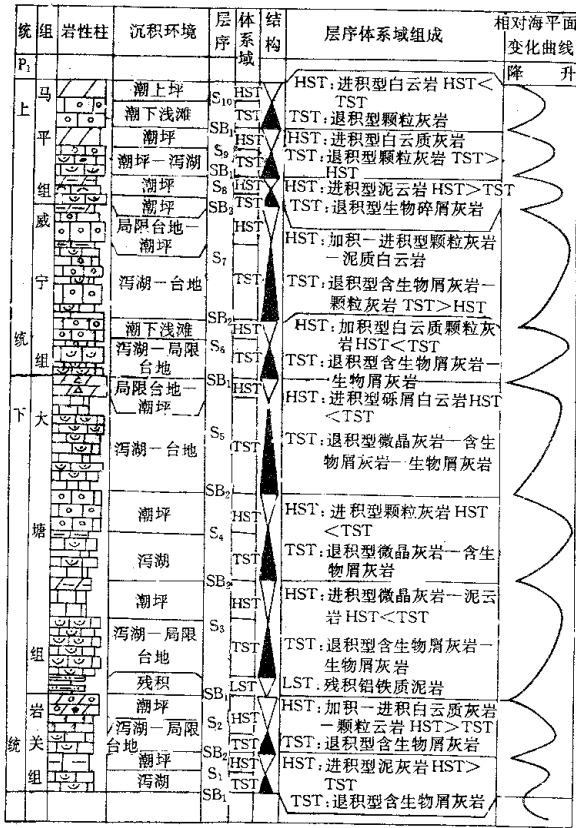


图 1 四川江油马角坝石炭系剖面层序划分及特征 (垂向比例尺 1:2500)

Fig. 1 Carboniferous sequence division and characteristics of Majiaoba profile in Jiangyou county sichuan province

3.2 层序关键界面

3.2.1 I 型层序界面

对 I 型界面的识别主要依据野外露头观察资料,即对界面的暴露标志如古风化壳、风化残积硅铝层、古喀斯特等及在陆棚坡折以下相应的低水位沉积等;此外,还结合室内测试分析,并考虑区域构造背景特点。研究表明,川滇黔桂地区石炭系 I 型层序界面有 5 个层位(不含上石炭统顶部层序界面),它们是层序 S_1 底界面(泥盆系与石炭系之间的平行不整合界面),层序 S_3 底界面(岩关阶与大塘阶之间的侵蚀平行不整合面), S_6 底界面(上下石炭统间的侵蚀不整合界面), S_9 底界面和 S_{10} 底界面(均是上石炭统马平阶中上部的侵蚀平行不整合界面)。这些 I 型界面一般都有明显的标识记录。

(1) S_1 底界面:

作为 I 型层序界面的主要证据有① 泥盆纪晚期与石炭纪初期沉积格局的巨大变化,由于大规模海退导致海域面积大大缩小,而陆地面积却急剧扩大;② 上扬子克拉通边缘及碳酸盐岩台地背景中强烈的区域性喀斯特岩溶及发育厚度不等的风化溶蚀残积层,如那坡大坡跃、兴安长冲屯、东兰金谷圩剖面等;③ 泥盆系最顶部层序,不同程度的缺失,相当于 *Siphonodella praesufacta* 带及相应岩层;④ 台盆相带沉积特征的差异,泥盆纪晚期以扁豆状灰岩沉积为特征,石炭纪初期以硅质岩、硅页岩及陆屑浊积岩为特征(图 2);⑤ 区域上华夏古陆西部发生大规模的河流回春作用;⑥ 生物演化上存在角石和牙形石不同程度的绝灭,腕足类、软体动物和棘皮动物呈阶梯状演变型式;⑦ 沉积地球化学上具有 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 和 $\delta^{13}\text{C}$ 事件面^[10, 11]。

(2) S_3 底界面:

界面标志比较明显,不同盆地及相带表现特征不一样。① 在上扬子克拉通盆地边缘及屏马古陆北缘均发育厚度不等的铝铁质风化粘土岩,厚度一般在 0~1 m 不等,最厚达 12.3 m,在川北江油马角坝发育紫灰色、褐红色河湖相—残积相铁泥质粉砂岩、铁铝质泥岩及褐铁矿沉积(图 1),另外在滇东嵩明小莲灯、西畴懂有及贵阳乌当地区等均发育残积相沉积。② 上扬子古陆南缘台地背景、右江盆地中台地以及桂东台地,广泛发育喀斯特,冲刷侵蚀作用强,充填物为含砾的泥质粉砂岩以及残积的碳酸盐质角砾岩。界面凹凸不平,下伏岩石普遍白云岩化,淡水成岩作用发育,溶蚀孔洞缝普遍,多被淡水方解石充填,如乐业乐沙、隆安都结、田林浪平、灵川磨盘山等剖面;有时还可发育世代结构,上部渗流带多世代方解石呈不规则脉状、团块状,具环带构造,下部潜流带方解石呈顺层分布的条带状。在广西兴坪罗田一带见清晰的古溶蚀面,其下伏高水位体系域顶部灰岩裂隙中有红色泥质充填,其上覆低水位沉积为黄金组底部的灰质角砾岩。在灵川桂局附近,为一波状溶蚀面,其上有 10~30 cm 厚的残积灰质角砾岩,由褐色、灰红色铁泥质胶结。那坡大坡跃剖面下伏高水位体系域碳酸盐岩中还发育大气淡水渗滤粉砂团块;③ 在台盆环境中,界面特征标志不明显,多为连续沉积,但是根据岩石组成以及纵向上结构序列变化仍可以划分出层序界面,如南丹巴坪及更林(图 2)、河池五圩、文山乐诗冲等剖面;④ 台缘斜坡背景,上斜坡发育暴露溶蚀特征,下斜坡至盆地边缘,低水位体系域富含细粒陆屑浊积岩和钙屑浊积岩,并与正常深水硅泥质沉积互层,如普安百沙、镇宁沙子沟、紫云火花等剖面;⑤ 在钦防深水海盆中,该层序界面则相变为岩关阶—大塘阶之间的连续沉积,说明了盆地背景有

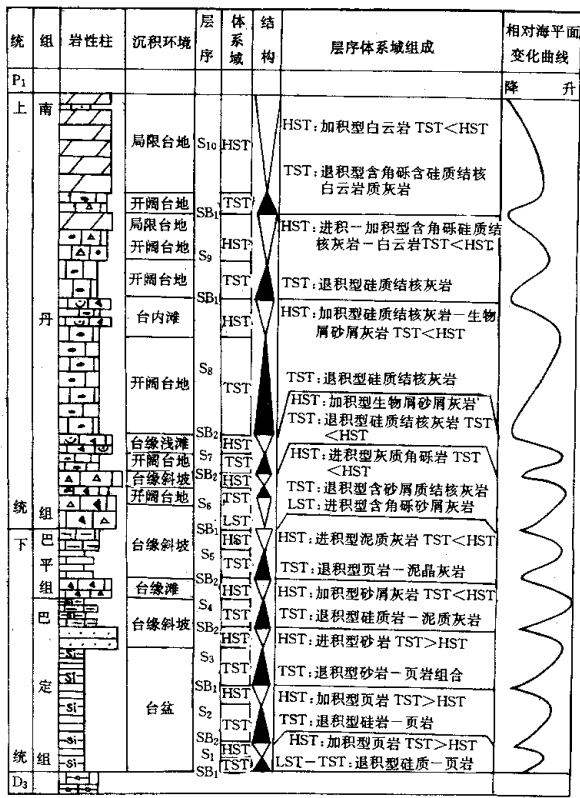


图2 广西南丹更林石炭系剖面层序划分及特征 (垂向比例尺 1:5000)

Fig. 2 Carboniferous sequence division and characteristics of Genglin profile in Nandan county Guangxi province

较大的不同。在生物演化方面,该侵蚀平行不整合发生在腕足 *Gigantoproductus* - *Finospirifer* 组合带与 *Eochorisites* 带,珊瑚 *Thysanophyllum* - *Aphrophyllum* 组合带与 *Pseudouralinia* - *Keyserlingophyllum* 带,有孔虫 *Tournayella discoidea* - *Plectogyra singularia* 组合带与 *Dainella chomatica* 组合带之间,这一不整合构成了生物群环境和更替的界限,岩关阶内常见的许多生物分子消失,如有孔虫中的 *Septaylomo* - *Spiranella*, *Septatournayella*, *Septabruasiina*, *Palaeospiroplectammina*, *Tournayella* 的多数种; *Plectogyra* 的许多种;四射珊瑚中的 *Keyserlingophyllum*; 腕足类 *Eochorisites* 等均在此界限灭绝。即使延伸至此界限之上的 *Pseudoteralimia*, 内部构造也发生了变异。在此界限之上发育了繁多的三带型四射珊瑚,腕足类则以 *Finospirifer Shaoyangensis*, *Gigantoproductus*, *Pugilis* 等大量发育为特征; 有孔虫则进入急剧分化时期,从比较原始种群向较高级方向演化,出现了许多新生属种及蜓类。

(3) S₆ 底界面:

在川滇黔桂地区早石炭世末期发生了大规模的海

退,导致了大面积的暴露,形成了 I 类层序界面,主要证据有:①上扬子古陆边缘及屏马古陆北缘以及台地背景均发育厚度不等的风化残积层,有风化的铝铁质粘土和溶蚀的碳酸盐质角砾岩,厚度在 1~50cm 之间,如江油马角坝(图 1),贵阳乌当、独山大园村及铁坑、西畴董有、那坡大坡跃、乐业逻沙等剖面;②层序界面明显凹凸不平,为一典型的侵蚀冲刷面,充填物多为含砾的粉砂质泥岩、泥岩和碳酸盐质角砾岩,如独山大园村剖面;③界面下伏岩石普遍白云岩化(图 1),淡水成岩作用发育,溶蚀孔洞缝常见;④界面上覆岩石直接上超在古喀斯特溶蚀面上,如独山铁坑剖面、江油马角坝剖面。沉积地球化学方面,以独山二层坡剖面为例,下伏层序高水位体系域顶部岩石 δ¹³C 为 1.22‰ (PDB), δ¹⁸O 为 -8.227‰ (PDB),上覆海侵体系域底部岩石 δ¹³C 为 3.229‰ (PDB), δ¹⁸O 为 -6.337‰ (PDB),可以看出层序界限上下碳氧同位素值相差较大,存在明显变化。生物演化上则表现为新兴生物分子大量繁盛,而早石炭世晚期繁盛的生物群分子则衰退以至绝灭。如珊瑚以新兴的 *Carinthiaphyllum exquisitum* - *Lithostrotionella stylaxis* 组合大量发育为晚石炭世早期的特色,而早石炭世晚期的珊瑚 *Kapuphyllum* - *Palaeosmia regia* 组合分子则很少见有。同样蜓类 *Pseudostaffella* 首次出现,而 *Millenrlla* - *Eostaffella* 不发育,菊石 *Bilingnites* - *Cancelloceras* 带组合分子大量繁盛,牙形石 *Declinognathodus noduliferus* 首次出现,有孔虫 *Millerella pressa*, *Millerella marblensis* 大量繁盛及 *Eosigmoilinids* 灭绝都从另一个方面证实了该界面的性质应为 I 型层序界面。

(4) S₉ 底界面:

作为 I 型层序界面主要证据有①贵州大部地区普遍发育有 0~50cm 不等的岩溶角砾岩,由铁泥质胶结灰岩角砾,向上直接由开阔台地泥晶灰岩覆盖;②独山铁坑剖面发育明显的上超界面,由开阔台地的泥晶灰岩直接超覆在下伏顶部白云岩层的溶蚀面上;③紫云火花剖面也具有明显的上超界面,由中薄层泥晶灰岩夹薄层硅质岩上超在下伏中厚层砂屑灰岩上,砂屑灰岩层顶面发育溶蚀残积层和风化粘土;④在上扬子古陆边缘及右江盆地的台地环境中,广泛发育喀斯特暴露及冲刷侵蚀现象(图 1、2),充填物为风化粘土或含砾的泥质粉砂岩、残积溶蚀角砾岩。界面之下岩石淡水成岩作用发育,普遍白云石化(图 1、2),发育溶孔及鸟眼构造,台盆环境中界面标志特征不明显,多为连续过渡沉积,但是据纵向上沉积序列结构的变化可以划分层序界面,软防深水海盆该层序界面也具如此

特征。在碳氧同位素地球化学特征上,下伏高水位体系域顶部岩石的 $\delta^{13}\text{C}$ 为 -1.849% (PDB), $\delta^{18}\text{O}$ 为 -8.234% (PDB),而上覆海侵体系域底部岩石的 $\delta^{13}\text{C}$ 为 0.16% (PDB), $\delta^{18}\text{O}$ 为 -6.624% (PDB),表明界面上下岩石的 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{18}\text{O}$ 值存在急剧的变化,也反映了层序界面的存在。下伏岩石的 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{18}\text{O}$ 的低负值是受暴露大气淡水溶蚀作用所致。生物演化上也较明显,珊瑚以 *Nephelophyllum* 组合的大量发育和 *Lytrophyllum mengi* 组合的大量衰退及 *Chuanshanophyllum* 和 *Pseudocarniaphyllum* 的首次出现为特征;蜓类以大量的 *Triticites* 种类发育为主,而以 *Montiparus* 为主的蜓动物群则逐渐消失。

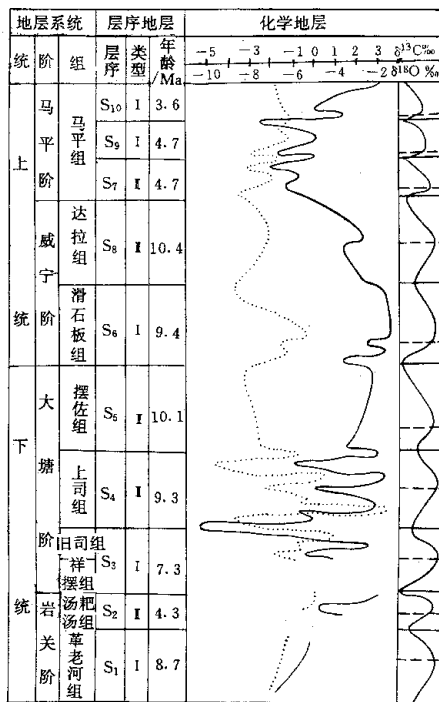


图 3 川滇黔桂地区石炭系层序地层的碳氧同位素特征

Fig. 3 Characteristics of carbon and oxygen isotopes of the Carboniferous sequence stratigraphy in Sichuan, Yunnan, Guizhou and Guangxi

(5) S₁₀底界面:

川滇黔桂地区作为 I 型层序界面的主要证据包括在贵州大部地区界面之上发育 0~50 cm 不等的残积溶蚀角砾岩和风化粘土,其上直接被开阔台地的泥微晶灰岩或含生物屑灰岩等覆盖,如贵州独山、威宁赵家山、盘县滑石板等地。在上扬子古陆边缘及右江盆地的广大台地背景,发育广泛的古喀斯特暴露冲刷侵蚀面,并被含砾泥质粉砂岩、残积角砾灰岩充填或淡水胶

结,下伏岩石白云石化强烈,溶蚀孔洞缝发育(图 1、2)。在碳、氧同位素地球化学特征上,下伏岩石的 $\delta^{13}\text{C}$ 为 -2.449% (PDB), $\delta^{18}\text{O}$ 为 -5.874% (PDB),而上覆岩石的 $\delta^{13}\text{C}$ 为 1.423% (PDB), $\delta^{18}\text{O}$ 为 -5.966% (PDB)。可以看出界面上下岩石的 $\delta^{13}\text{C}$ 值差异极大,而 $\delta^{18}\text{O}$ 值却无明显变化,这也反映了层序界面的存在。在生物演化上,则以大量的蜓 *Pseudoschwagerina* 富集而 *Triticites* 衰退,珊瑚 *Kepingophyllum* 群体类型的大量发育且广泛分布为特征。

3.2.2 II 型界面

当相对海平面上升速率低于沉积滨岸坡折带沉积速率时,发育 II 型层序界面,主要表现为陆上暴露,但无河流回春现象发生,在沉积滨岸坡折带,界面之上沉积物向海岸方向上超。II 型层序界面在研究区的克拉通边缘及右江盆地的广大台地及桂东台地背景上反映为陆上暴露侵蚀冲刷或上超不整合,而在这两种界面标志特征不明显的地方,则以明显的岩相岩性结构转换面为特征,表现为上覆退积型沉积和下伏进积型沉积之间的结构转换面。除此之外,界面下伏岩石还普遍具有白云石化作用,淡水成岩作用及发育溶蚀孔洞缝(图 1),但是受淡水溶蚀作用的深度及程度都不及 I 型层序界面。因此 II 型层序界面也是一个古喀斯特溶蚀面,侵蚀冲刷面。在右江盆地台盆环境及软防深水海盆中则表现为连续沉积(图 2),主要依据相序结构转换面来确定。总体说来,II 型层序界面不如 I 型层序界面容易识别。在研究区,根据上述标志特征,结合生物化石分带、碳、氧同位素地球化学特征及其它等时地层单元资料,划分出 5 个 II 型层序界面,即层序 S₂、S₄、S₅、S₇、S₈ 的底界面。

3.2.3 最大海泛面

最大海泛面是指在最大海侵期形成的一等时性地层界面,也是海侵体系域的顶界面。川滇黔桂地区石炭系的 10 个层序都可区分出最大海泛面,主要通过凝缩层的特征来加以区别。不过,不同沉积盆地背景及不同沉积相带有差异,表现在以碳酸盐沉积为主的潮坪、台地环境,最大海泛期主要是由薄层泥晶灰岩、瘤状泥质泥晶灰岩、泥灰岩、生物扰动灰岩、含生物屑灰岩、硅质条带灰岩等组成,富含小型薄壳底栖生物和部分浮游生物化石(图 1);陆源沉积为主的潮坪—泻湖环境,凝缩层则表现为富含黄铁矿、菱铁矿及磷、锰等结核的薄层状黑色页岩或炭质页岩或富含生物化石的泥灰岩为特征,在浅滩及边缘滩背景中则对应于泥粒灰岩或粒泥灰岩;台盆背景下,最大海泛面可根据有机质丰富的黑色页岩、硅泥岩、浮游生物硅质岩及含火山沉积的组合来加以分辨(图 2);在深水海盆中,凝缩层

段不易识别,但以每一层序中放射虫硅质岩或硅质岩最富集的层位可以大致识别。综合上述沉积盆地及不同相带的沉积记录可以发现,最大海泛面一般为生态转换面,即由大量浮游及漂浮生物群构成的富生物薄层,或者由大量浅水型底栖生物群落及浅水沉积向上改变为深水沉积及含丰富浮游生物的深水型组合,同时与其它界面和体系域相比,还表现为色深层薄、水平层理和平直纹层状构造发育,有机质含量及碳氧同位素值达到最高,古氧值、孔隙度却最低。

3.2.4 初始海泛面

初始海泛面即是初始海侵面,为海侵体系域与下伏低水位或陆架边缘体系域间的物理界面。研究区石炭系层序地层中的初始海泛面有两种表现形式:1)包括 S_1 、 S_3 、 S_6 、 S_9 、 S_{10} 5 个 I 型层序的初始海泛面位于海侵体系域与低水位体系域之间;2)其它 5 个 II 型层序的初始海泛面台地上与其 II 型底界面或下伏层序顶部不整合面相重合,即相当于海侵上超面。I 型层序的初始海泛面鉴别标志在不同盆地、不同沉积类型背景下不尽一致,在陆缘背景表现为富生物屑的砂质灰岩、泥质灰岩及钙质粉—细砂岩超覆陆相或残积相沉积,如江油马角坝剖面的 S_3 层序(图 1)。碳酸盐台地环境体系则反映为泥粒灰岩、粒泥灰岩上超在颗粒灰岩,白云质灰岩及溶蚀残积层之上,如紫云火花剖面 and 独山铁坑剖面的 S_9 层序。在台地边缘斜坡,初始海泛面表现为海侵沉积超覆在低水位期的钙屑碎屑流、浊流、颗粒流及岩崩积岩和原地自生沉积物上,如南丹巴坪剖面及更林剖面的 S_6 层序(图 2)。在台盆及深水海盆背景中表现为页岩与纹层状硅质岩或沉凝灰岩形成岩相结构转换面(图 2)。另外区内众多初始海泛面上通常发育富含较多新兴生物种属的向上变深变细准层序组,其下为含不同生态组合的向上变粗变浅的进积型准层序组。需指出的是,在浅水陆缘及台地背景下,该界面常具冲刷、浪蚀现象,揭示随着海平面上升,先期沉积物底形和水动力状态的平衡遭到破坏,沉积物表面形态在新的水动力条件下被改造,并留下一个不整合侵蚀面,其上通常可见到 1~10cm 的含细砾砂岩或细砾屑灰岩。

3.3 体系域特征

3.3.1 低水位体系域(LST)及陆架边缘体系域(SMST)

LST、SMST 位于层序界面与初始海泛面之间,主体为向海方向的进积叠置,其形成发育均与暴露侵蚀不整合有关,沉积主要发生在台缘斜坡、台盆及深水海盆环境中。上扬子克拉通盆地、右江盆地中台地环境、华夏陆缘拗陷沉积背景中相当于 LST 沉积主要为古

喀斯特面上的铝铁质残积风化粘土层,铝土质岩及残积的溶蚀角砾岩,在上扬子克拉通古陆边缘的局部地带(如四川江油马角坝的 S_3 -LST)还发育河湖相的铁泥质粉砂岩等沉积物(图 1)。台缘斜坡地带 LST 沉积上部暴露剥蚀,下部发育碎屑流、浊流沉积与硅泥岩、泥灰岩的互层(图 2)。台盆环境中发育细粒钙屑浊积岩与硅岩、硅泥岩等的互层。深水海盆环境发育进积型的硅岩与沉凝灰岩的互层。

SMST 在上扬子克拉通古陆边缘的潮坪—泻湖相带为暴露溶蚀,残积层极薄或无残积层。台地环境以暴露溶蚀为主,低洼地带发育加积—进积型的泥灰岩、泥晶灰岩、泥粒灰岩准层序组。台缘斜坡地带相当于 SMST 沉积为碎屑流、浊流及岩块崩塌物与泥质灰岩、泥粒灰岩的互层组合成进积型或加积型准层序组。台盆环境主要为加积型硅泥岩与浊积岩的互层组合或硅泥岩、硅岩—硅灰岩—灰岩的互层组合。深水海盆环境发育加积型硅岩与沉凝灰岩的互层。

3.3.2 海侵体系域(TST)

由初始海泛面与最大海泛面间的向岸方向退积复合体系组成。研究区海侵体系域较发育,各标志特征也较明显。在上扬子克拉通古陆边缘潮坪—泻湖相带发育碳酸盐岩潮坪及砂泥坪、混合坪,岩性组合为退积型的泥微晶灰岩—泥粒灰岩或白云质灰岩准层序,或者砂泥岩互层,夹煤层或灰岩、泥灰岩层。台地背景发育退积型泥微晶灰岩—粒泥灰岩—泥粒灰岩或白云岩准层序组,各标志特征可参阅前述最大海泛面与初始海泛面特征描述。此不再赘述,重要的是应当注意 TST 向岸方向上超的野外直接证据。

3.3.3 高水位体系域(HST)

位于最大海泛面与层序(顶/底)界面之间,广泛发育克拉通及被动陆缘裂谷盆地中,各准层序组的叠置型式以加积—进积为主。研究区石炭系 HST 的标识在不同沉积盆地、不同沉积类型条件下有所不同,如古陆边缘泻湖、潮坪相带发育泥微晶灰岩—泥粒灰岩—白云岩的碳酸盐岩潮坪及泥云坪、泥坪的加积—进积型准层序组,以进积为主。台地环境以台地加积型和台地—浅滩的加积—进积准层序组叠加而成,岩性组成为泥微晶灰岩—粒泥灰岩—泥粒灰岩准层序和灰岩—白云质灰岩—白云岩准层序组成,表现为向上变浅变粗。台缘斜坡以加积型台缘滩的生物屑灰岩、砂屑灰岩及斜坡相进积型的重力流沉积与泥晶灰岩、硅灰岩、泥灰岩互层。台盆环境为加积型硅岩—硅泥岩—硅灰岩—泥晶灰岩准层序组,向上泥质、灰质增多,而硅质减少。深水海盆环境为加积型硅岩—沉凝灰岩互层组合。

3.4 层序区域对比

层序对比主要是针对四个盆地及同一盆地不同相带中发育同一层序进行对比。层序对比的内容包括层序的数量、界面性质、体系域的发育程度、体系域结构

等方面。

从不同盆地及同一盆地不同相带层序地层剖面对比图(图 4)可以看出,上扬子克拉通边缘,右江盆地、华夏陆缘盆地、钦防盆地一般都发育完整的 $S_1 \sim S_{10}$ 层

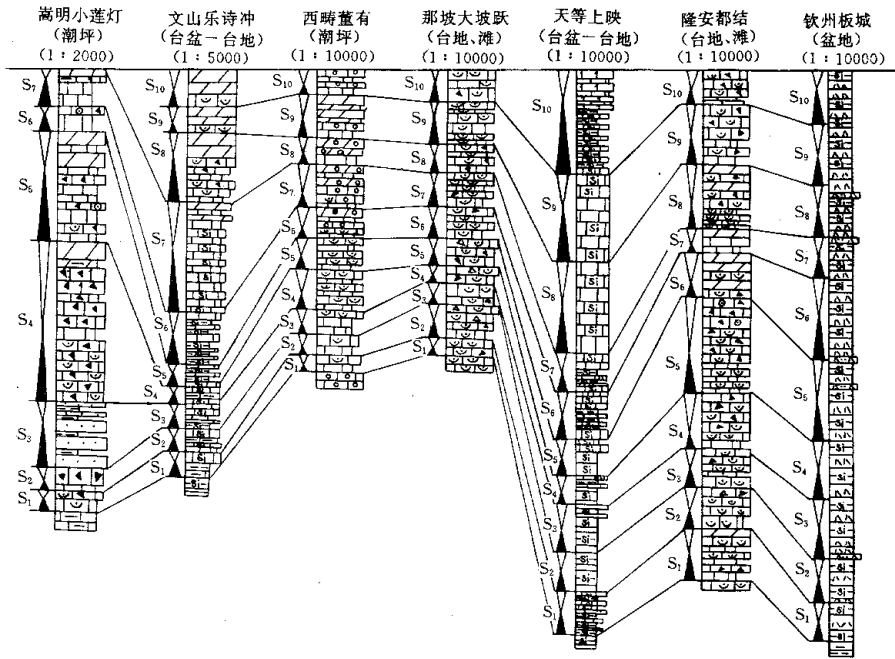


图 4 川滇黔桂地区不同相区石炭系典型剖面层序划分对比

Fig. 4 Sequence division and correlation of the Carboniferous typical profiles located in the different sedimentary facies in the study area

序,而靠近古陆边缘的浅水潮坪—泻湖相区则往往缺失下部或顶部的 2~3 个层序。如贵阳乌当地区缺失下统岩关阶的 $S_1 \sim S_2$ 两个层序,滇东嵩明小莲灯地区缺失上统马平阶的 3 个层序($S_8 \sim S_{10}$)。这是由于在岩关期,贵阳乌当地带还是古陆,海水还未侵入到该区。滇东嵩明地带由于马平期海水大规模的海退而造成以前潮坪相带暴露,遭受剥蚀未接受沉积所致。

层序,如贵阳乌当,云南嵩明等地,这可能与两方面因素有关,一是有沉积被后期改造剥蚀掉,二是本身就处于暴露剥蚀状态,已成为物源区。

4 层序格架模型

根据上述层序划分、对比及层序特征研究,建立了横穿上扬子克拉通及其边缘、右江被动陆缘裂谷盆地、钦防海盆、华夏被动陆缘坳陷的层序时空格架模型(图 5)。

上扬子克拉通南缘的基底是稳定的克拉通地壳,地形相对平缓,水体较浅,由于气候温暖,底栖生物和藻类繁盛,形成较大规模的碳酸盐台地,沉积相带从陆缘向海发育潮坪、局限台地、开阔台地,其中以台地的空间分布范围大,其内还发育浅滩沉积。随着时间的演化各层序及同一层序的相带空间分布范围及层序地层组成特征发生变化,如同一层序 HST 时期,潮坪和局限台地空间分布范围要大于 TST 时期,而开阔台地则正好相反, HST 主要由白云岩、白云质灰岩、泥云岩及泥粒灰岩组成,而 TST 主要由泥晶灰岩、泥灰岩、粒泥灰岩和泥粒灰岩组成。各层序之间的变化尤以潮坪相带最为明显, $S_1 \sim S_4$ 层序时期,碳酸盐坪、碎屑坪、泥坪及它们之间的混合带均发育,碎屑坪主要发育在层序 $S_3 \sim S_4$ 时期,而 $S_5 \sim S_7$ 层序时期,全是碳酸盐坪, $S_8 \sim S_{10}$ 层序时期潮坪相带则不发育,而以近陆的局限台地发育为特征。从相带的横向对比来看,潮坪

4.1 上扬子克拉通及其南缘

石炭纪时期,上扬子克拉通主体部分为古陆,南缘发育潮坪—台地相沉积。其层序在时间序列上可识别区分出 $S_1 \sim S_{10}$ 层序单元。按照层序底界面性质,可进一步区分出 5 个 I 型层序, 5 个 II 型层序。在近古陆地区,缺失下石炭统 $S_1 \sim S_2$ 层序和上石炭统 $S_8 \sim S_{10}$

横向差异小,体系域厚度 $TST > HST$,显示明显的海侵型沉积层序,具有高幅低频海平面上升、短期海平面静止特点,沉积体系域由各种强烈退积或强烈进积型沉积楔构成。而台地横向差异大, $HST > TST$,显示明显的海退型沉积层序,并出现中高幅低频海平面上升、短期低幅海平面下降特征,沉积体系域以弱退积、加积、弱进积型准层序组为特征。

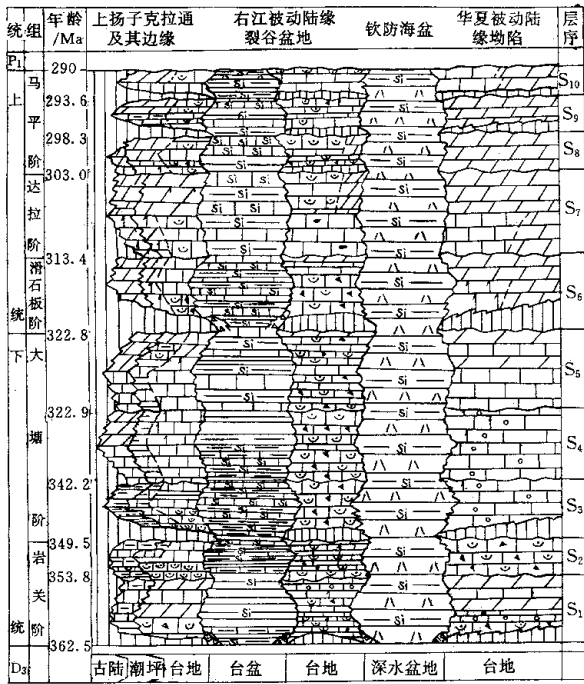


图5 川滇黔桂地区石炭系层序地层时空格架示意图

Fig. 5 The Carboniferous sequence stratigraphic time-space pattern diagram Sichuan, Yunnan, Guizhou and Guangxi

4.2 右江被动陆缘盆地

对于右江盆地的层序地层格架及沉积演化分析结果,显示了与其它盆地较大不同之处。早石炭世 $S_1 - S_5$ 层序时期,右江被动陆缘裂谷盆地表现为台盆相间的格局,台缘斜坡发育,坡度较陡,出现大规模滑塌沉积,准层序组进积和加积占有较大比例;台盆则主要受同沉积断裂活动、海平面变化、台缘重力流及火山活动的综合控制,主要由硅泥岩、硅灰岩及钙屑浊积岩、碎屑浊积岩、火山岩组合构成,反映相对深水、非补偿—补偿沉积特点。晚石炭世 $S_6 - S_{10}$ 层序时期,右江被动陆缘裂谷盆地因区内同沉积断裂带的裂隙与走滑活动渐趋稳定,表现为以沉积充填作用为主,深水台间盆地逐渐变浅收缩而向台地演化,形成台包盆的沉积格局,台盆内主要由硅灰岩、硅质岩及钙屑浊积岩组成。台地相带则大面积广布,且局限台地也较发育,以一套白云岩、灰质白云岩和白云质灰岩组合为特征,开阔台地

中浅滩遍布,沉积组合以泥微晶灰岩、泥粒灰岩、颗粒灰岩为特征。台盆与台地之间的斜坡相带也不发育。

在时间序列上以右江盆地层序单元发育最齐全, $S_1 - S_{10}$ 各层序发育完整,其中包括 5 个 I 型层序和 5 个 II 型层序。

4.3 钦防深水海盆

钦防地区层序地层格架及沉积演化与上扬子克拉通盆地、右江盆地有较大区别。钦防深水海盆主要受北东向继承性同生走滑断裂控制,呈槽状、水体深,属欠补偿性质,层序发育主要受控于同生断裂活动、全球海平面变化及远洋悬浮物源等。由硅质岩、沉凝灰岩交替沉积组成,层序识别和界面标志相对困难,从早石炭世 S_1 层序至晚石炭世 S_{10} 层序,岩石组成特征无变化,仅沉积范围向南西方向缩小。

4.4 华夏陆缘坳陷盆地

华夏陆缘坳陷盆地的层序地层格架和沉积演化与上扬子克拉通南缘台地相似,时间序列上,可识别出 $S_1 - S_{10}$ 个层序单元,且基本发育齐全,也可以分出 5 个 I 型层序和 5 个 II 型层序。空间分布上主要由碳酸盐台地组成。近云开古陆边缘在早石炭世 $S_1 - S_5$ 层序时期发育窄带状潮坪相, $S_6 - S_{10}$ 层序期间不发育潮坪,而演化成台地。随着时间的演化,由开阔台地占主体 ($S_1 - S_4$ 层序) 演化到开阔台地和局限台地并存 ($S_5 - S_7$ 层序),至马平期为局限台地 ($S_8 - S_{10}$ 层序)。沉积物组成也从颗粒灰岩、粒泥灰岩至泥微晶灰岩、白云岩到全部由白云岩组成。

总观川滇黔桂地区石炭系,其层序地层格架清楚,发育良好,盆地性质多样,在纵向上,全区各盆地均可识别出 10 个层序,区域上各盆地层序基本可进行对比,这极大提高了地层的对比精度。

参考文献

- 1 陈洪德, 钱奕中, 刘文均著. 层序地层学理论和研究方法 [M]. 成都: 四川科学技术出版社, 1994. 1-5
- 2 刘文均, 陈源仁, 郑荣才, 王洪峰, 李祥辉等. 层序地层 [M]. 成都: 成都科技大学出版社, 1996. 1-128
- 3 王成善, 陈洪德, 寿建峰等著. 中国南方海相二叠系层序地层与油气勘探 [M]. 成都: 四川科学技术出版社, 1998. 1-139
- 4 陈宏明, 吴祥和, 张璞, 李耀西, 文琼英等著. 中国南方石炭纪岩相古地理与成矿作用 [M]. 北京: 地质出版社, 1994. 13-33
- 5 覃建雄, 曾允孚, 黄志勋, 吴勇. 四川龙门山马角坝地区石炭纪层序地层及海平面变化研究 [J]. 岩相古地理, 1996, 16(1): 19-33
- 6 郑荣才, 李德敏, 张梢楠. 川东黄龙组天然气储层的层序地层学研究 [J]. 沉积学报, 1995, 13(增刊): 1-9
- 7 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海平面变化 [J]. 地球科学, 1994, 19(5): 553-564
- 8 冯庆来. 桂西北早石炭世台槽地区露头层序地层及海平面变化研究

- [J]. 地球科学, 1994, 19(5): 609~619
- 9 王增吉等著. 中国的石炭系[M]. 北京: 地质出版社, 1990. 8~48
- 10 黄思静. 上扬子台地区晚古生代海相碳酸盐岩的碳、锶同位素研究
- [J]. 地质学报, 1997, 71(1): 45~53
- 11 崔秉荃. 上扬子石炭纪锶碳同位素和微量元素铝与海平面变化的关系[J]. 成都地质学院学报, 1993, 20(3): 33~37

Sequence Stratigraphy Study on the Carboniferous Strata in Sichuan, Yunnan, Guizhou and Guangxi

PENG Jun¹ CHEN Hong-de¹ TIAN Jing-chun¹
 QIN Jian-xiong¹ HOU Zhong-jian¹ YANG Xiao-ning² SHOU Jian-feng²
 SHENG An-jiang² CHEN Zhi-liao²

1 (Institute of Sedimentary Geology, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059)

2 (Hangzhou Institute of Petroleum Geology, Hangzhou 310023)

Abstract

The Carboniferous strata extensively distributes in Sichuan, Yunnan, Guizhou and Guangxi provinces. It has the characteristic of clear stratigraphic division and correlation, plentiful sediment types and better outcrops. It is suitable to have the sequence stratigraphy research in these areas.

This paper has focused on the accurate researches of the exposure sequence stratigraphy of the Carboniferous strata based on the detailed sedimentological study and accurate stratigraphic division and correlation of the Carboniferous strata in Sichuan, Yunnan, Guizhou and Guangxi provinces with the aid of the theory and studying means of the exposure sequence stratigraphy. Sequences are divided mainly by the characteristics of the key boundary surfaces, regional correlation, sedimentary facies sequence changes, parasequence stacking patterns, facies assemblage and sedimentary geochemistry. It has expounded in detail the outcrop signs of the sequence division and various boundary surfaces.

The Carboniferous strata in the study area are divided into 10 third-scale sequences, which are named from sequence 1 to 10, with the upper series of Carboniferous strata having 5 sequences and the lower series also. In the lower series of Carboniferous strata, Yanguan stage are composed of sequence 1 to 2, and Datang stage from sequences 3 to 5. In the upper series, Huashiban stage are composed of sequence 6 and Dala stage of sequence 7, and Maping stage from sequence 8 to 10. According to the features of the bottom boundary surface, 10 sequences are classified into two sorts of sequences, which are type I sequence ($S_1, S_3, S_6, S_9, S_{10}$) and type II sequence (S_2, S_4, S_5, S_7, S_8). The bottom boundary surfaces of type I sequence all have clear signs including the strong paleokarst, the different thickness eluvial facies, the strata discontinuity, the immense changes of sedimentary patterns and traits, the regional revival of river, the disappearance and abrupt changes of organism evolution and the huge and sudden alternation of carbon, oxygen and strontium isotope values. On the other hand, the bottom boundary surfaces of type II sequence are characterized by the transient exposure, the weak erosion and the lithoface texture transformation. So it is discerned more difficultly than the bottom boundary surface of type I sequence.

This paper also has expounded in detail the sedimentary features of the first transgressive surfaces and condensed sections of sequences in the different sedimentary environments and basins. It has summarized the sedimentary characteristics of the different system tracts in the different facies and basins. On the basis of these researches, this paper has probed the sequence correlation in the different sedimentary facies and basins from the ways of the sequence numbers, boundary surface traits and system tract structures and has founded the time-space pattern diagram of the Carboniferous sequence strata in the study area.

Key words sequence stratigraphy time-space pattern Carboniferous Sichuan, Yunnan, Guizhou and Guangxi provinces