

王传尚,李志宏,彭中勤,等.黔桂地区早泥盆世晚期碳稳定同位素变化及其对海平面变化的响应[J].中国地质,2014,41(6):2039-2047.
Wang Chuanshang, Li Zhihong, Peng Zhongqin, et al. The carbon isotope variation and its responses to sea level changes during the late Early Devonian period in Guizhou and Guangxi[J]. Geology in China, 2014, 41(6): 2039-2047(in Chinese with English abstract).

黔桂地区早泥盆世晚期碳稳定同位素变化 及其对海平面变化的响应

王传尚 李志宏 彭中勤 王保忠 张国涛

(中国地质调查局武汉地质调查中心,湖北 武汉 430223)

摘要:对黔桂地区早泥盆世晚期不同相区典型剖面的沉积序列特征的分析显示,这一时期发生了两次明显的海平面升降变化过程,其沉积序列可识别出 2 个三级层序(SQ1、SQ2)并可进行区域对比;而广西象州下泥盆统大乐组碳稳定同位素的变化曲线与区域海平面变化曲线一致。表明海平面的变化不但控制了这一时期本区域的沉积序列,也深刻影响着这一时期的海水地球化学性质。

关键词:海平面变化;碳稳定同位素;层序地层

中图分类号:P539.2 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-3657(2014)06-2039-09

从早泥盆世开始,黔桂地区在加里东运动所形成的褶皱基底上,沿钦州—防城一线自南向北出现了广泛的板内张裂活动,使该地区下沉为盆地,尤其是早泥盆世晚期到早石炭世的陆内扩张,形成了台地、台沟间列的被动大陆边缘盆地格局。晚石炭世—二叠纪大陆边缘盆地进入弧后盆地阶段,三叠纪进入前陆盆地阶段。晚三叠世强烈的印支运动使上古生界—三叠系构造层褶皱、断裂变形,盆地全面上升为陆地,结束了盆地的海相沉积史^[1-4]。因此,黔桂地区见证了从晚古生代—三叠纪的典型的裂陷盆地—弧后盆地—前陆盆地的演化历程,是研究中国华南晚古生代—三叠纪沉积盆地演化的经典地区。本文就是在这一构造背景下,研究了早泥盆世黔桂地区盆地扩张过程中的海平面变化及其沉积学、碳稳定同位素地层学响应。

早泥盆世早期,黔桂地区沉积了一套红色的滨海相碎屑岩,包括莲花山组及相当层,岩性以砂

岩、粉砂岩为主,夹泥岩,底部砾岩发育,该滨海相沉积自南向北超覆在早古生代不同时期的地层之上。其后,随着海侵规模的扩大,相继沉积了滨海相、浅海相的那高岭组、郁江组及与之相当的地层序列^[1-4]。早泥盆世晚期是黔桂地区的岩相古地理分异初现端倪的时期,丘台槽盆的古地理格局初步形成,并与早泥盆世早期以滨海相砂泥岩沉积为主的古地理格局形成了鲜明的对照。这一时期,槽盆中的黑色页岩(塘丁组)已成为广西乃至华南地区重要的生烃层位,晚古生代最早期的生物礁也开始发育,并逐步发展为华南地区晚古生代重要的储集岩系。因此,这一时期的沉积成为中国华南油气资源勘探的重要目标层系之一,受到基础地质和油气地质专家们的广泛关注。由于台地相与台盆(沟)相之间沉积序列、古生物等的差异巨大,二者之间地层划分与精确对比十分困难,这无疑将对精细刻画这一时期岩相古地理的格局及沉积盆地演

收稿日期:2013-07-31;改回日期:2013-10-25

基金项目:中国地质调查局项目(12120114053701、1212011121104)资助。

作者简介:王传尚,男,1969年生,研究员,主要从事地层学研究;E-mail:wangchuanshang@163.com。

化产生不利影响。因此,研究这一时期的海平面变化及层序地层的划分具有重要意义。

本文选择了分别位于不同古地理区的3条典型剖面(图1~2),开展早泥盆世晚期层序地层及海平面变化的研究。其中,独山下泥盆统舒家坪组—龙洞水组剖面为连陆台地相区的典型剖面,象州下泥盆统大乐组剖面为浅海陆棚相区的典型剖面,南丹下泥盆统塘丁组剖面为台盆相区的典型剖面。

尽管海平面变化控制着黔桂地区沉积序列的时空展布,但不同相区沉积序列的差异仍困扰着层序地层的划分与对比,而碳稳定同位素对海平面变化的响应,将为不同相区的地层划分及精确对比提供新的证据。基于这一考虑,本文从层序地层学的角度研究了黔桂地区的海平面变化,并将这一时期碳稳定同位素的变化曲线与之对应,力图查明碳稳定同位素的变化与海平面变化之间的内在联系。

1 早泥盆世晚期的海平面变化及层序地层划分与对比

根据王传尚的研究,早泥盆世晚期的沉积序列可划分为2个三级层序^[5],自20世纪90年代以来,层序地层学有了很大的发展,尤其是强迫型海退概念的提出^[6-7],使层序地层学的理论体系日臻完善。黔桂地区早泥盆世晚期的沉积体系的发育特点,是不发育低位体系域(LST)或陆架边缘体系域(SMST),同时,未见强迫型海退的沉积序列。因此,本文所划分的三级层序大致相当于前人的“类型Ⅲ层序”^[7]。现自下而上将这两个三级层序在不同相区的沉积特征简述如下(图2):

1.1 层序1(SQ1)

为一个三级海平面升降变化旋回,但由于当时特殊的古地理环境,均不发育低位体系域(LST)或

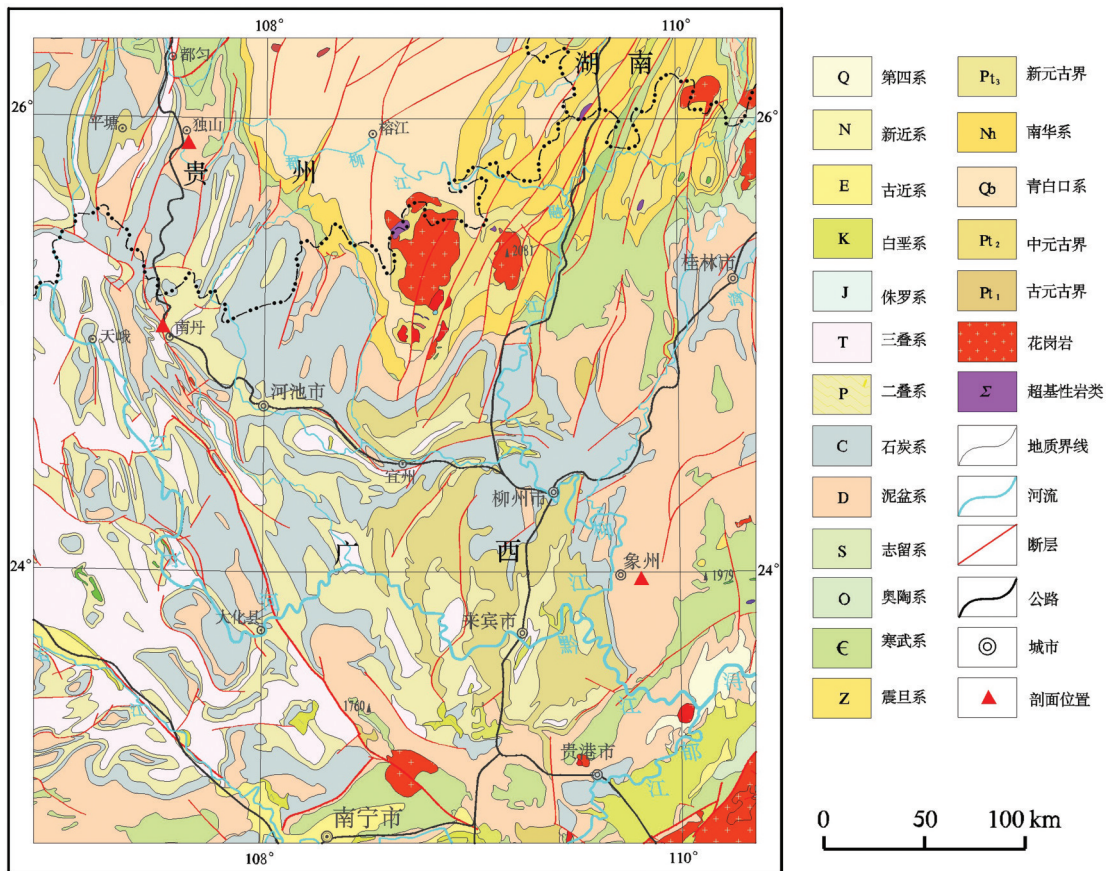


图1 研究区地质简图及剖面位置图

Fig.1 Sketch geological map and locations of the sections in the study area

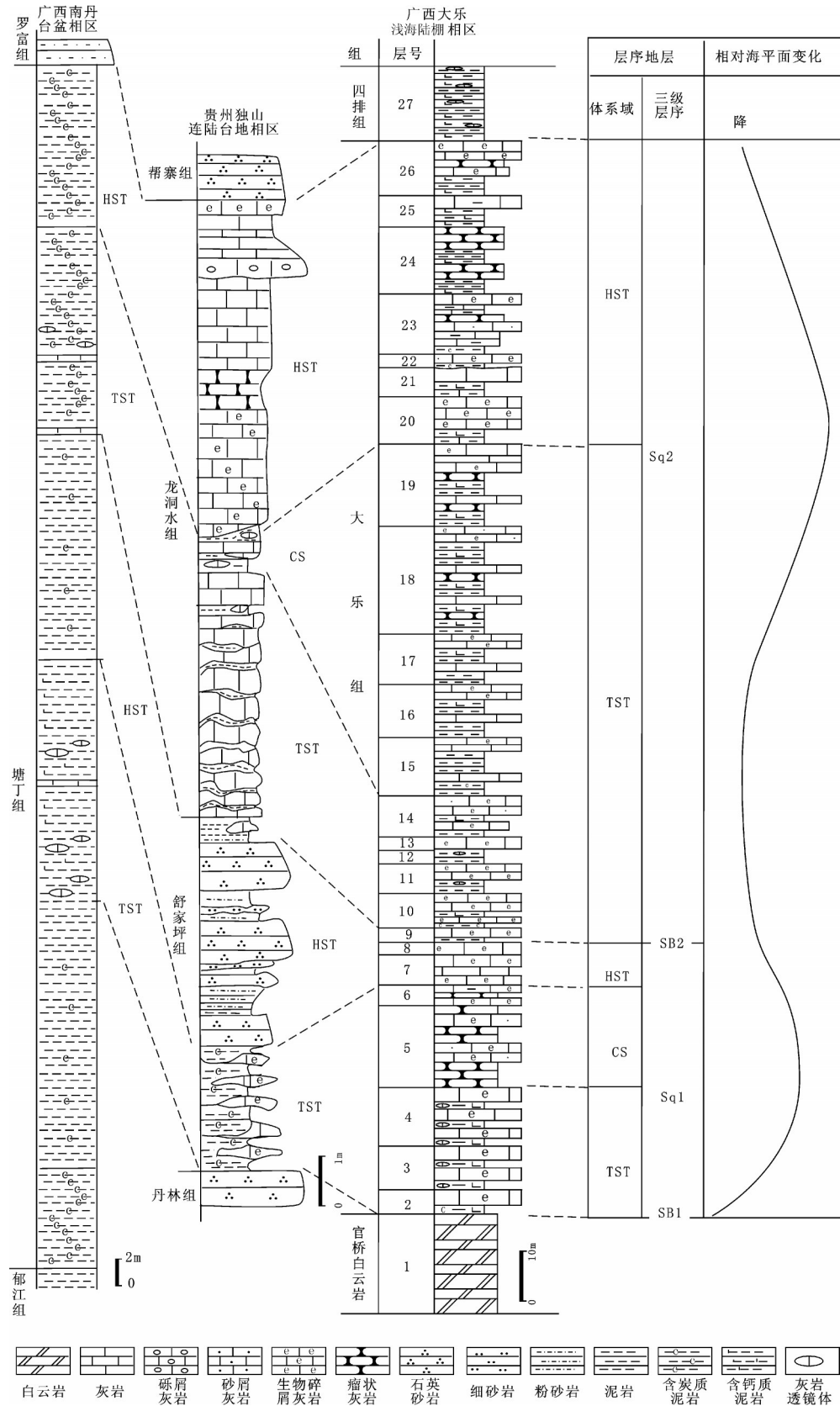


图2 不同相区下泥盆统层序地层划分及对比

Fig.2 Sequence stratigraphic classification and correlation in different facies

陆架边缘体系域(SMST),而初始海泛面,在不同的沉积相区均可追索到其踪迹,在连陆台地相区的独山一带,初始海泛面为舒家坪组下部薄层含炭质泥岩夹灰岩透镜体与下伏中粗粒石英砂岩形成一个岩性转换面。在浅海陆棚相区象州一带初始海泛面为深灰-灰黑色极薄层(1~2 cm)钙质泥岩夹含炭质泥岩与下覆浅灰-灰白色厚层(0.5~0.7 m)夹中层(0.3~0.4 m)微-泥晶白云岩所形成的层序转换面。而在台盆(沟)相区的南丹一带,初始海泛面为含灰岩透镜体或薄层泥晶灰岩的含炭质泥岩与下覆含炭质泥岩所形成的层序转换面一致。

在黔南独山地区连陆台地相区,该层序由舒家坪组构成。其海侵体系域(TST)为浅海陆棚相沉积,以泥岩夹灰岩沉积为特征,厚度约2.5 m。随着本层序海侵的开始,其泥岩中常见单体珊瑚,而灰岩透镜体多见群体珊瑚化石。本层序高水位体系域(HST)厚约4 m,其岩性为中细粒-中粗粒石英砂岩,夹粉砂岩、泥质粉砂岩、泥岩,形成多个向上变粗、变浅的进积型副层序,为无障壁三角洲相沉积。

在桂中象州浅海陆棚相区,该层序位于大乐组的上部,由海侵体系域(TST)、凝缩段(CS)和高水位体系域(HST)构成。与独山地区SQ1的TST相对应的是本相区的TST和CS。本层序的TST厚25.5 m,以潮下低能带与潮下高能带沉积交替出现为特征;CS段沉积厚16.4 m,这一时期,随着海平面的上升,陆源碎屑的供应大幅萎缩,以潮下低能带为主夹潮下高能带沉积,自下而上,可划分出4个副层序,大致与王鸿祯等^[8]的小层序或五级层序对应,其叠置的方式为加积-弱退积方式。本层序的HST为深灰色-灰厚层(0.55~0.66 m)夹中层状粉细晶灰岩,层间夹紫红色似层状瘤状泥质灰岩,向上逐渐变为深灰色-灰色厚层夹中层生屑灰岩、紫红色似层状瘤状泥灰岩。上部灰岩中见丰富的腕足类、珊瑚(单体,群体)、层孔虫等化石。

在桂北南丹台盆(沟)相区,本层序在台盆相区与塘丁组的中部对应,塘丁组下部已经是台盆相的含炭质泥岩沉积,但从其沉积序列分析,对应于一个三级层序,根据对区域资料的分析,笔者等认为,该层序对应于台地相区大乐组之下、连陆台地相区舒家坪组之下的一个三级层序,因此,本文从塘丁组中部所发育的三级层序开始讨论。

本层序由TST和HST构成,分别对应于舒家坪组的相同的体系域。TST由2个向上退积的副层序组成,其中下部的副层序厚8.6 m,上部副层序厚4.6 m,其岩性为灰色厚层状含炭质钙质泥岩、中下部顺层发育灰岩透镜体或薄层泥晶灰岩,泥岩中水平层理发育,层面见密集无定向分布的竹节石化石,显示水动力条件弱。同时,泥岩中尚散布微晶状黄铁矿,局部可密集成团或成层分布,显示了底域缺氧的还原环境。

该层序的高位体系域(HST)由灰色厚层-块状含炭质泥岩组成,该泥岩富含竹节石化石,并见少量小个体的腕足类化石,显示随着海平面的下降,底域环境有所改善。

1.2 层序2(SQ2)

本层序为一三级海平面升降旋回,与SQ1类似,不发育低位体系域或陆架边缘体系域。初始海泛面为TST与SQ1高位域(HST)之间所形成的层序转换面。

黔南独山地区连陆台地相区:本层序的海侵开始于舒家坪组最上部厚约0.5 m的泥岩夹灰岩透镜体,其中灰岩透镜体主要由群体珊瑚组成。该泥岩段与下伏中细粒石英砂岩之间的界面为初始海泛面,海侵体系域(TST)主要由龙洞水组下部的薄层瘤状灰岩夹泥岩组成,该段顶部所发育的薄层泥岩夹灰岩透镜体、薄层灰岩,是最大海泛期的沉积(CS)。龙洞水组上部以厚层状含生屑泥晶、微晶灰岩为主,上部出现砾屑灰岩、含生屑粉晶灰岩,标志着相对海平面的逐步下降,具有高位体系域(HST)的沉积特征。

桂中象州台地相区:该层序位于大乐组的上部,由海侵体系域(TST)和高水位体系域(HST)构成。层序界面为一沉积相变面,在本剖面上显示连续沉积特征。

本层序TST由32个副层序构成,其中,最下部的两个副层序,其潮下低能带向上变为台缘潮下高能带的沉积特征明显;中上部的副层序,主要为浅水陆棚相的灰-灰黑色薄层状泥岩、含钙质泥岩夹瘤状生屑灰岩。其堆叠的方式以泥岩向上厚度逐渐增加为特点,形成以弱退积为主的副层序组。

本层序的HST由14个向上变浅的副层序构成,其下部主要为深灰-灰色中层(20~30 cm)粉晶-

微晶生屑灰岩,层间偶夹厚层生屑灰岩及3~5 cm 浅灰黄色泥岩、钙质泥岩,生屑主要为腕足类、双壳类化石。上部为深灰色薄-中层(9~12 cm)粉晶生屑灰岩、苔藓虫灰岩间夹紫红色极薄层泥岩、钙质泥岩,产珊瑚及大量苔藓虫化石。其沉积相以礁滩相为主,局部可见潮道相沉积。

桂北南丹台盆(沟)相区:本层序TST厚8.8 m,由两个向上变深的退积序列构成,其岩性特征、赋存生物特征均与SQ1相同;HST为黑色厚层-块状含炭质泥岩,厚约5 m。本层序的相序结构与层序1(SQ1)基本一致。

从上述沉积序列的特征分析可见,在黔桂地区早泥盆世晚期的海平面变化控制了沉积序列在不同相区的时空分布,但层序地层的划分和对比,尽管前人做了大量细致的研究工作^[5,8-15],但划分意见并不一致,许效松等认为这一时期只发育一个三级层序^[9],该三级层序的底界与本文SQ1的底界相同,其顶界与SQ2的顶界相同;Du Yuansheng et al^[10]、Gong Yiming et al^[11]所划分的三级层序依据大乐组的石朋段、六回段和丁山岭段3个岩性段划分了3个三级层序(SQ8、SQ9-1、SQ9-2),但在层序地层的对比中,下部的石朋段与区域上的1个三级层序(SQ8)对应,其上部的2个三级层序(SQ9-1、SQ9-2)则与区域上的1个三级层序(SQ9)对应^[11]。王鸿祯等^[8]的认识与Gong Yiming et al^[11]一致。本文在详细测量剖面的基础上,将大乐组及同期地层划分为2个三级层序,在横向上分别对应于Gong Yiming et al^[11]、王鸿祯等^[8]的SQ8、SQ9,侯明才等^[12]的DSQ6、DSQ7,Mei & Tucker^[13-14]的SQ5。而王约对黔南独山地区层序地层的研究所^[15]则与本文的观点一致。

2 碳稳定同位素特征

2.1 样品采集、测试及可靠性分析

在广西大乐下泥盆统大乐组,笔者等采集了26件碳氧稳定同位素样品,将样品无污染粉碎至200目以下,在中国地质大学(武汉)地质过程与矿产资源国家重点实验室MAT253型质谱仪上完成样品测试工作。利用碳氧同位素国家标样校正得到样品碳氧同位素,相对于VPDB,以%表示,得到碳氧同位素外部精度分别<0.15%和<0.2%。

从测试结果看(表1),26块样品 $\delta^{18}\text{O}$ 值主要分

布在-9%~4.73%,平均 $\delta^{18}\text{O}$ 为-7.06%,显示所测试的氧同位素已经受到成岩期后蚀变的影响,尽管笔者在采样过程中力求所采集的样品新鲜且尽量避免生物碎屑的混入,但后期蚀变的影响仍然不可避免。本文所测试的所有样品的 $\delta^{18}\text{O}$ 值均大于-10%,因此,所测试样品受后期蚀变的影响可能较为有限。从样品测试数据 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{18}\text{O}$ 值相关性分析,二者未显示明显的相关性(图3),相关系数仅为0.13,表明所测试数据 $\delta^{13}\text{C}$ 受后期影响较小,可大致反映

表1 广西大乐早泥盆世晚期大乐组C、O稳定同位素组成
Table 1 Stable isotopic data of carbon and oxygen in late Early Devonian Dale Formation at Dale Town, Guangxi

样品号	岩性	层位	$\delta^{13}\text{C}/\text{‰}$ (-VPDB)	$\delta^{18}\text{O}/\text{‰}$ (-VPDB)
PM005-2-1H	灰岩	大乐组	-2.61	-7.87
PM005-3-1H	灰岩	大乐组	-2.17	-7.31
PM005-4-1H	灰岩	大乐组	-1.23	-7.23
PM005-4-2H	灰岩	大乐组	-0.54	-6.36
PM005-5-1H	灰岩	大乐组	-0.63	-6.69
PM005-6-1H	灰岩	大乐组	-0.66	-6.94
PM005-7-1H	灰岩	大乐组	-1.04	-6.96
PM005-8-1H	灰岩	大乐组	-1.44	-6.77
PM005-9-1H	灰岩	大乐组	-1.31	-6.74
PM005-10-1H	灰岩	大乐组	-0.44	-6.59
PM005-11-1H	灰岩	大乐组	-1.64	-6.38
PM005-12-1H	灰岩	大乐组	-0.29	-7.15
PM005-13-1H	灰岩	大乐组	-1.17	-6.96
PM005-14-1H	灰岩	大乐组	-0.56	-7.14
PM005-15-1H	灰岩	大乐组	-1.15	-8.01
PM005-16-1H	灰岩	大乐组	-0.82	-7.41
PM005-17-1H	灰岩	大乐组	-0.47	-7.15
PM005-18-1H	灰岩	大乐组	-0.69	-7.61
PM005-20-1H	灰岩	大乐组	0.23	-7.25
PM005-20-2H	灰岩	大乐组	0.05	-9.00
PM005-21-1H	灰岩	大乐组	0.03	-7.13
PM005-22-1H	灰岩	大乐组	0.42	-6.75
PM005-23-1H	灰岩	大乐组	-0.11	-6.84
PM005-24-1H	灰岩	大乐组	0.10	-4.73
PM005-25-1H	灰岩	大乐组	-0.03	-7.06
PM005-26-1H	灰岩	大乐组	0.09	-7.52

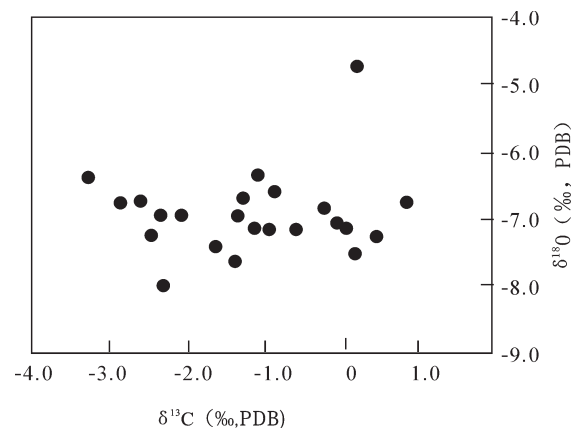


图3 广西大乐早泥盆世晚期大乐组C、O稳定同位素分布特征
Fig.3 The distribution of $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{18}\text{O}$ in the late Early Devonian Dale Formation, Dale Town, Guangxi

当时的碳稳定同位素的组成特征。

2.2 碳稳定同位素特征及其地质意义

根据测试结果,大乐组的 $\delta^{13}\text{C}$ 值自下而上有逐步升高的趋势,最小值(-2.61%)位于剖面底部(样品号:PM005-2-1H),最大值(0.42%)见于剖面上部22层,均值-0.70%。在 $\delta^{13}\text{C}$ 纵向变化曲线上,显示了两个正向偏移的位置,分别为DP1和DP2,前者位于剖面第4层和第6层之间,大致与最大海泛期的凝缩沉积相对应;后者位于剖面22层及相邻层位,大致与高位体系域的生物礁相沉积相对应(图4)。这一变化曲线和本文所开展的海平面变化曲线基本吻合,二者之间是否存在内部的相关性? $\delta^{13}\text{C}$ 在这一剖面的变化是局部的变化还是具有大区域(或全球)对比意义?其成因机制是什么?

国内学者对这一时期碳同位素的研究尚不多见,程红光等^[16]在龙门山地区利用腕足类化石研究了泥盆纪的 $\delta^{13}\text{C}$ 的变化,其测试结果Locfit拟合曲线显示 $\delta^{13}\text{C}$ 值纵向上大约有3个旋回,其相对高值分别对应于甘溪组下部,二台子组、金宝石组中段以及土桥子组上部。其中,前二者对应于早泥盆世埃莫斯期,与大乐组的时代基本一致。其碳同位素 $\delta^{13}\text{C}$ 的变化曲线与大乐组也基本一致。从甘溪组开始,碳同位素Locfit曲线大约从+0.5%开始下降,在甘溪组和谢家湾组界线处达到最低点-1%。在谢家湾组和二台子组对应的时间内,碳同位素在-0.5%左右徘徊,在二者交界期间碳同位素最高,接近0值。上述变化表明无论是全岩样品还是腕足类化石样品,都能大致反映这一时期的碳同位素 $\delta^{13}\text{C}$ 值变化趋势,同时,也说明了其变化具有区域性。崔秉荃等亦对龙门山地区的碳同位素地层学及海平面变化进行了研究^[17],不过其采样密度过稀,在本期的变化呈“锯齿状”起伏,但总体上 $\delta^{13}\text{C}$ 值仍呈逐渐升高的趋势。

从全球的尺度考察这一时期的 $\delta^{13}\text{C}$ 变化, $\delta^{13}\text{C}$ 值也呈现2个相对高值区,下部对应*Polygnathus inversus*牙形石带,上部对应*P. serotinus*牙形石带^[18],二者之间为Daleje事件,该事件为一低水平的生物绝灭事件^[19],对应于 $\delta^{13}\text{C}$ 相对低值(1.0‰)。换言之,埃莫斯期中晚期的 $\delta^{13}\text{C}$ 的演化具有全球一致性,是地层划分与对比的可靠的辅助工具。在欧洲中南部地区,除艾菲尔阶与吉维特阶界线附近 $\delta^{13}\text{C}$

的正异常与海平面的上升相关外, $\delta^{13}\text{C}$ 值的变化与海平面的变化联系并不紧密^[18]。而华南埃莫斯期中晚期的 $\delta^{13}\text{C}$ 的演化与海平面变化关系如何?是海平面变化控制了 $\delta^{13}\text{C}$ 的变化吗?

在广西大乐泥盆系剖面第一个相对高值区(DP1)与最大海泛期相对应,第二个相对高值区(DP2)与高位域对应,但更重要的是DP2和华南晚古生代最早期的生物礁建设期吻合。这一现象在龙门山地区也得到很好的印证,DP1在龙门山地区见于甘溪组的海侵序列中,大致与最大海泛期相对应;DP2则对应于二台组沉积期,该期是龙门山地区第一大生物成礁期。

影响 $\delta^{13}\text{C}$ 值变化的因素很多,除海平面变化外,有机碳储库和无机碳储库之间的相互作用,大洋、大气和大陆之间碳的迁移和转化,都会影响到 $\delta^{13}\text{C}$ 值变化。DP1在广西大乐泥盆系剖面是第一个 $\delta^{13}\text{C}$ 值相对高值区,其变化的主控因素是否与已知的碳同位素正异常事件类似?笔者等曾探讨了寒武纪SPICE碳同位素异常事件,该事件是一次大规模的碳同位素正异常事件,尽管前人也提出了该事件与有机质埋藏率升高有关的观点,但笔者认为该事件叠加了碳酸盐岩的风化作用^[20],从海平面升降变化看,SPICE事件是海退背景下的碳同位素正异常,而DP1则对应于加里东运动之后广泛的海侵期。海平面的上升,将使海域面积扩大、陆域面积减小,陆源有机质向海洋输入量也将相应减少,使海水中溶解的 CO_2 富 ^{13}C ;同时,海平面上升也为有机质的埋藏提供了更广阔的空间。因此,DP1与SPICE的成因机制不同,更可能与有机质埋藏率的升高相关。

DP2与生物成礁期相对应,表明这一时期是生物大量繁盛期,生物对轻碳同位素的优先吸收,影响了海水中碳同位素的组成,最终使碳酸盐岩 $\delta^{13}\text{C}$ 升高。在欧洲中南部地区,与DP2相对应的也是一个 $\delta^{13}\text{C}$ 高值区,其下的 $\delta^{13}\text{C}$ 低值与生物的低水平绝灭相关(Daleje事件)^[19],即在该地区Daleje事件之后,生物进入了复苏和繁盛的阶段。

总体而言,海平面的升降变化,制约着沉积序列的变化,制约着生物的绝灭、复苏与繁盛,也深刻影响着海水的地球化学性质,早泥盆世晚期的DP1与有机质埋藏率的升高相关,DP2与成礁期生物大量繁盛相关。

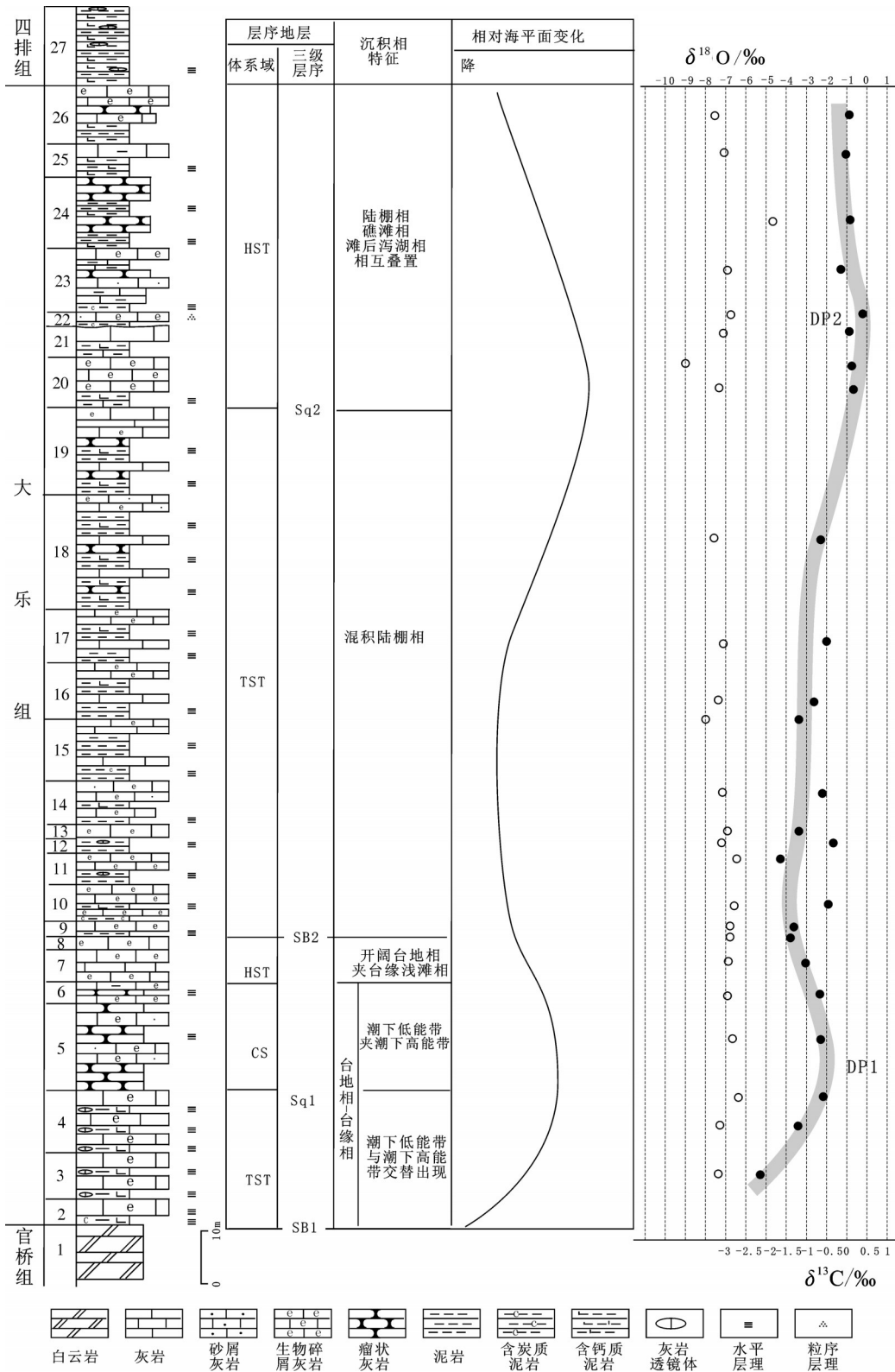


图4 早泥盆世晚期碳同位素变化及其对海平面变化的响应

Fig.4 Stable carbon isotopic variations and responses to the sea-level changes during the late Early Devonian period

3 结 论

根据本文海平面变化及碳稳定同位素 $\delta^{13}\text{C}$ 变化的研究表明,在华南地区,尽管埃莫斯期中晚期 $\delta^{13}\text{C}$ 变化的深层次原因各有不同,DP1与有机质埋藏率的升高相关,DP2与成礁期生物大量繁盛相关,但二者与海平面变化仍有不可分割的联系,前者是海平面的上升影响了有机质的埋藏,后者是混积陆棚向清水陆棚演化过程中导致了生物礁的发育。从这个意义上讲,是海平面变化通过影响有机质埋藏或生物演化控制了海水的地球化学性质。因此,利用碳稳定同位素对海平面变化的响应,对于提高本地区同期地层、特别是同期槽盆相区地层划分与对比的精度具有重要意义。

参考文献(References):

- [1] 殷保安. 广西壮族自治区岩石地层[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1997: 52-191.
Yin Baoan. Lithostratigraphy in Guangxi[M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1997: 52-191 (in Chinese).
- [2] 董卫平. 贵州省岩石地层[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1997: 143-220.
Dong Weiping. Lithostratigraphy in Guizhou[M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1997: 143-220 (in Chinese).
- [3] 钟铿, 吴诒, 殷保安, 等. 广西的泥盆系[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1992: 1-370.
Zhong Keng, Wu Yi, Yin Baoan, et al. Devonian System of Guangxi[M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1992: 1-370 (in Chinese with English abstract).
- [4] 吴诒, 周怀玲, 蒋廷操, 等. 广西泥盆纪沉积相古地理及矿产分布[M]. 南宁: 广西人民出版社, 1987: 1-292.
Wu Yi, Zhou Huailing, Jiang Tincuo, et al. The Sedimentary Facies Paleogeography and Relatively Mineral Deposits of Devonian in Guangxi[M]. Nanning: Guangxi People's Publishing House, 1987: 1-292 (in Chinese with English abstract).
- [5] 王传尚, 李志宏, 彭中勤. 广西象州早泥盆世晚期海平面变化与生物礁的迁移[J]. 地质科技情报, 2014, 33(1): 55-59.
Wang Chuanshang, Li Zhihong, Peng Zhongqin. The sea level changes and patch reefs shift at the end of Early Devonian in Xiangzhou, Guangxi Zhuang Autonomous Region[J]. Geological Science and Technology Information, 2014, 33(1): 55-59 (in Chinese with English abstract).
- [6] Posamentier H W, Allen G P, James D P, et al. Forced regression in a sequence stratigraphic framework: concepts, example, and exploration significance[J]. AAPG Bulletin, 1992, 76(11): 1687-1709.
- [7] 梅冥相, 杨欣德. 强迫型海退及强迫型海退楔体系域——对传统 Exxon 层序地层学模式的修正[J]. 地质科技情报, 2000, 19(2): 17-21.
Mei Mingxiang, Yang Xinde. Forced regression and forced regressive wedge system tract: Revision on traditional Exxon model of sequence stratigraphy[J]. Geological Science and Technology Information, 2000, 19(2): 17-21 (in Chinese with English abstract).
- [8] 王鸿祯, 史晓颖, 王训练, 等. 中国层序地层研究[M]. 广州: 广东科技出版社, 2000: 143-188.
Wang Hongzhen, Shi Xiaoying, Wang Xunlian, et al. Research on the Sequence Stratigraphy of China[M]. Guangzhou: Guangdong Science & Technology Press, 2000: 143-188 (in Chinese).
- [9] 许效松, 牟传龙, 林明. 露头层序地层与华南泥盆纪古地理[M]. 成都: 成都科技大学出版社, 1993: 1-288.
Xu Xiaosong, Mou Chuanlong, Lin Ming. The Outcrop Sequence Stratigraphy of Devonian and Palaeogeography in South China[M]. Chengdu: Chengdu University of Sciences and Technology Press, 1993: 1-288 (in Chinese with English abstract).
- [10] Du Yuansheng, Gong Yiming, Wu Yi, et al. Devonian sequence stratigraphy and sea-level change cycles in south China[J]. Journal of China University of Geosciences, 1996, 7(1): 72-79.
- [11] Gong Yiming, Wu Yi, Du Yuansheng, et al. Devonian sea-level change rhythms in south China and coupling relationships among the earth-spheres[J]. Acta Geologica Sinica, 1997, 71(4): 370-385.
- [12] 侯明才, 陈洪德, 田景春. 泥盆纪右江盆地演化与层序充填响应[J]. 地层学杂志, 2005, 29(1): 62-70.
Hou Mingcai, Chen Hongde, Tian Jingchun. Devonian sequence filling response to the evolution of the Youjiang Basin[J]. Journal of Stratigraphy, 2005, 29(1): 62-70 (in Chinese with English abstract).
- [13] Mei Mingxiang, Tucker M E. Sequence stratigraphic frameworks and sea level changes for the Late Paleozoic of the Dianqiangui Basin and its adjacent areas of Southwestern China[C]//Wong Th E (ed.). Proceedings of the XVth International Congress on Carboniferous and Permian Stratigraphy. Amsterdam: Royal Netherlands Academy of Arts and Sciences, 2007, 417-430.
- [14] Mei Mingxiang, Tucker M E. Facies-succession and architecture of the third order sequences and their stratigraphic framework of the Devonian in Yunnan-Guizhou-Guangxi area, South China[J]. Journal of Palaeogeography, 2013, 2(1): 93-108.
- [15] 王约. 黔南独山泥盆纪露头层序地层及海平面变化研究[J]. 贵州地质, 2001, 18(3): 154-162.
Wang Yue. On outcrop sequence stratigraphy and sea level changes of Devonian in Dushan, south Guizhou[J]. Guizhou Geology, 2001, 18(3): 154-162 (in Chinese with English abstract).
- [16] 程红光, 李心清, 袁洪林, 等. 泥盆纪海水的碳、氧同位素变化——来自腕足化石的同位素记录[J]. 地球学报, 2009, 30(1):

- 79–88.
Cheng Hongguang, Li Xinqing, Yuan Honglin, et al. Carbon and oxygen isotope variations of Devonian sea water: Isotopic records from brachiopod shell[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 2009, 30(1): 79–88 (in Chinese with English abstract).
- [17] 崔秉荃, 卢武长, 杨绍全. 龙门山地区泥盆纪锶、碳同位素与海平面变化[J]. *成都地质学院学报*, 1993, 20(2): 1–8.
Cui Bingquan, Lu Wuchang, Yang Shaoquan. Strontium and carbon isotopes and sea level fluctuation of Devonian in Longmen Mountain region[J]. *Journal of Chengdu College of Geology*, 1993, 20(2): 1–8 (in Chinese with English abstract).
- [18] Buggisch W, Michael M Joachimski. Carbon isotope stratigraphy of the Devonian of Central and Southern Europe[J]. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2006, 240: 68–88.
- [19] House M R. Strength, timing, setting and causes of mid Palaeozoic extinctions[J]. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2002, 181: 5–25.
- [20] 王传尚, 李旭兵, 白云山, 等. 湖南永顺地区寒武系 SPICE 事件及其地层对比意义[J]. *中国地质*, 2011, 38(6): 1440–1445.
Wang Chuanshang, Li Xubing, Bai Yunshan, et al. The Cambrian SPICE event in Yongshun area, Hunan Province, and its significance for stratigraphic correlation[J]. *Geology in China*, 2011, 38(6): 1440–1445 (in Chinese with English abstract).

The carbon isotope variation and its responses to sea level changes during the late Early Devonian period in Guizhou and Guangxi

WANG Chuan–shang, LI Zhi–hong, PENG Zhong–qin, WANG Bao–zhong, ZHANG Guo–tao
(*Wuhan Center of China Geological Survey, Wuhan 430223, Hubei, China*)

Abstract: Based on the sedimentary sequence characteristics of the typical sections in different facies zones in Guizhou and Guangxi, the authors recognized two obvious sea level fluctuations during the late Early Devonian period. On such a basis, the sedimentary sequences are divided into two third grade sequences (SQ1, SQ2). The sequences (SQ1, SQ2) can be correlated regionally. In addition, the authors observed that the curve of $\delta^{13}\text{C}$ from Lower Devonian Dale Formation in Xiangzhou of Guangxi is coincident with the curve of the regional sea level fluctuations. This study indicates that the geochemistry as well as the sequences was well controlled by the sea level changes.

Key words: sea level changes; stable carbon isotope; sequence stratigraphy

About the first author: WANG Chuan–shang, male, born in 1969, senior researcher, mainly engages in the study of stratigraphy; E–mail: wangchuanshang@163.com.