

# 上扬子区下寒武统的层序地层划分 和层序地层格架的建立

梅冥相<sup>1,2</sup> 张 海<sup>1,2</sup> 孟晓庆<sup>1,2</sup> 陈永红<sup>1,2</sup>

(1. 中国地质大学地质过程与矿产资源国家重点实验室, 北京 100083;  
2. 中国地质大学地球科学与资源学院, 北京 100083)

**摘要:**上扬子区特别是贵州及邻区的下寒武统发育完整,是一套从黑色页岩系到碳酸盐岩的地层序列。寒武系与震旦系之交的台地淹没事件之后,在研究区域普遍形成一套以牛蹄塘组为代表的缺氧盆地相黑色岩系,随着沉积环境的逐渐变浅,在下寒武统顶部发育一套以清虚洞组为代表的碳酸盐岩地层。因此,下寒武统组成一个二级层序,其中可以进一步划分为 5 个三级层序,形成一个有序的海侵—海退旋回序列。在二级层序之中,三级层序形成一个有序的垂直叠加形式,自下而上三级层序由“凝缩段(CS)+高水位体系域(HST)”序列演变为“海侵体系域(TST)+凝缩段(CS)+高水位体系域(HST)”,层序界面类型由淹没不整合型层序界面演变为明显的暴露间断面,意味着二级层序的相序组构与三级层序存在相似性。上述时间变化在不同的空间古地理背景之中形成了一些差异,从北西向南东,古地理背景由浅变深,下寒武统厚度变薄,向东南变为一个难以进行三级层序划分的凝缩序列。以不同古地理背景的典型剖面的层序划分为基础,根据三级层序的两大属性——空间上相序的有序性和时间上环境变化的同步性,可以建立研究区域能反映出地层记录中“两种相变面和两种穿时性”的层序地层格架。层序地层格架的建立表明,研究区域的下寒武统是一个复杂而有序的地层序列,代表以凝缩序列为基底的碳酸盐台地生长与形成过程;伴随着寒武纪早期的快速海侵作用事件所造成的生态空间的拓展,为寒武纪生物大爆发奠定了古地理基础,同时意味着沉积环境变化与生物多样性事件之间的较为密切的关系以及若干有待进一步研究的问题。

**关键词:**上扬子区;下寒武统;层序划分

**中图分类号:**P539.2 **文献标示码:**A **文章编号:**1000-3657(2006)06-1292-13

## 1 概 述

在上扬子区,特别是贵州和邻区,下寒武统的空间变化极为复杂,同时也是一个时间变化极为复杂的地层序列,岩石地层单位名称<sup>[1-3]</sup>复杂多变也从另一个角度反映出这一特点,从而成为层序地层研究较为理想的地区。在浅水台地背景中,贵州的下寒武统划分为牛蹄塘组、明心寺组、金顶山组、清虚洞组分别与滇东的梅树村组、箬竹寺组、沧浪铺和龙王庙组相对应;在深水盆地,下寒武统为一套覆盖在硅质岩之上的黑色泥页岩系地层,其中难以进行三级层序划分,称为渣拉沟组(以贵州东南的三都渣拉沟剖面为代表);二者之间的过渡区域则划分为牛蹄塘组、九门冲组、变马冲组、杷

榔组和清虚洞组。更为特别的是,牛蹄塘组黑色页岩系地层广布全区,构成一套相变极不明显的“缺氧事件沉积”,代表了“相的持续性现象”<sup>[6-7]</sup>,牛蹄塘组黑色页岩系地层与下伏灯影组白云岩地层之间形成一个极为典型的“淹没不整合型层序界面”<sup>[8-9]</sup>;而在贵州余庆、瓮安、湄潭一带明心寺组砂页岩系地层之中所夹的厚度 200 余米的碳酸盐岩地层,其特殊的产出层位和分布的局限性又让人费解。牛蹄塘组及其相应地层底部的地层,在相对较浅水的背景之中为一套产小壳化石的含磷岩系,被命名为“戈仲伍组”<sup>[10]</sup>;相应地在较深水的背景之中,则相变为硅质岩,而且该硅质岩被认为是“热水沉积”<sup>[11]</sup>,它们共同组成快速海侵作用初期的特殊沉积。笔者的工作建立在前人岩相古地理研究<sup>[12-14]</sup>的基础上,从沉积物的时间演化

收稿日期:2005-10-18;改回日期:2006-06-08

基金项目:中国石油化工股份有限公司科技工程重点项目(QZ-2005-18)资助。

作者简介:梅冥相,男,1965年生,博士,教授,主要从事沉积学与地层学研究;E-mail:meimingxiang@263.net。

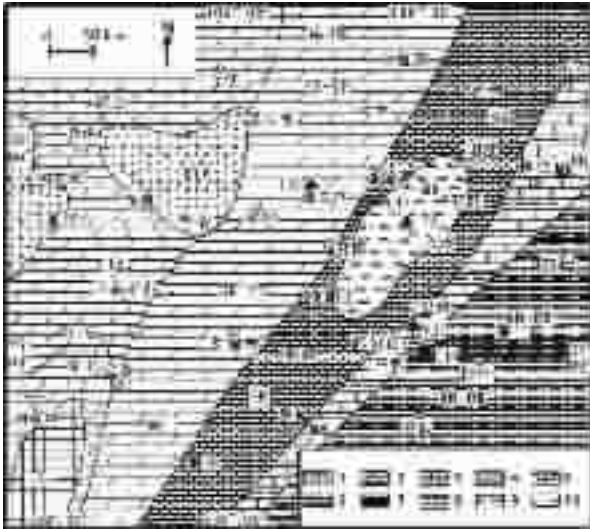


图1 研究区域三级层序 DS<sub>5</sub> 沉积期相古地理图及剖面位置分布

黑色三角形所代表的主要地层剖面分别为:(1)三都渣拉沟;(2)丹寨南皋;(3)余庆河坝;(4)湄潭黄连坝;(5)遵义松林;  
1—白云岩夹蒸发岩;2—白云岩;3—砂泥质白云岩;4—灰岩;  
5—生物丘灰岩;6—白云岩夹灰岩;7—灰岩夹泥岩;8—砂泥质页岩;  
9—相带界线;10—推测的相带界线;OL—古陆;ETF—蒸发潮坪相;MTF—混积潮坪相;TF—潮坪相;SR—浅缓坡相;MB—泥晶生物丘相;MR—中缓坡相;DR—深缓坡相;AB—缺氧盆地相

Fig.1 Map showing the sedimentary facies and paleogeography during the deposition of the Cambrian third-order sequence DS<sub>5</sub> and the location of the chief logged sections in the study area

Black triangles represent the chief logged sections:(1) Zhalagou section in Sandu;(2) Nangao section in Danzhai;(3) Heba section in Yuqing;(4) Huanglianba section in Meitan;(5) Songlin section in Zunyi;  
1—dolomite with evaporite;2—dolomite;3—sandy and muddy dolomite;  
4—limestone;5—bioherm limestone;6—dolomite with limestone;  
7—limestone with mudstone;8—sandy argillites;9—boundary of sedimentary facies;10—inferred boundary of sedimentary facies;  
OL—continental area (oldland);ETF—evaporitic tidal flat facies;  
MTF—mixed tidal flat facies;TF—tidal flat facies;SR—shallow ramp facies;MB—micritic bioherm facies;MR—moderate ramp facies;  
DR—deep ramp facies;AB—anoxic basin facies

序列和沉积相的空间展布形式所代表的规律性入手<sup>[7,15-16]</sup>,从各主要剖面点的层序划分(图1)到区域上的层序地层格架的建立,力图揭示研究区域下寒武统复杂有序的层序地层特征。这种立足于沉积相研究的层序地层划分与对比,为探讨沉积事件与生物多样性事件之间的复杂关系<sup>[17]</sup>奠定了良好的基础,这些生物多样性事件由那些举世闻名的动物群所代表,如小壳化石动物群<sup>[18]</sup>、澄江动物群<sup>[19]</sup>、台江动物群和凯里动物群<sup>[20]</sup>等等。再者,研究区域下寒武统较为完整的地层记录成为中国拟定下寒武统年代地层<sup>[5]</sup>的典型地区,与华北地台的下寒武统存在较大的差异<sup>[21-23]</sup>,其中在下寒武统下部所发育的“淹没不整合型层序”类似于华北地台的上寒武统<sup>[24]</sup>,就

像前寒武纪层序地层划分<sup>[25]</sup>和对沙漠沉积体系的层序地层研究一样<sup>[26]</sup>与传统的 Exxon 层序地层模式<sup>[27-28]</sup>存在较大的差异。限于篇幅,笔者将选取各相带最具有代表性的剖面(图1)来介绍三级层序的划分,最后建立研究区域下寒武统的层序地层格架。

## 2 深水背景的三都渣拉沟剖面 and 丹寨南皋剖面下寒武统的层序划分

在研究区域东南部的深水背景下,沉积背景最深的剖面是三都渣拉沟剖面,构成下寒武统的地层称渣拉沟组<sup>[2-3]</sup>;而向北西,以丹寨南皋为代表,下寒武统包括牛蹄塘组、九门冲组、变马冲组、杷榔组和清虚洞组,为一套从黑色页岩系到碳酸盐岩的地层序列所组成。

### 2.1 三都渣拉沟剖面的下寒武统——深水背景下的凝缩作用序列

该剖面的下寒武统称为渣拉沟组,底部为一套厚度只有4 m 的远洋盆地相硅质岩,其上为大套盆地相黑色页岩系,化石贫乏,产黄铁矿结核并富含有机质而代表深水还原环境的沉积;顶部则以含粉砂质炭质泥岩为代表,含少量粉砂和较多的钙质物表明了深水陆棚相的沉积特点。在该剖面下寒武统厚度只有94.93 m,与浅水台地相区的厚度为数百米乃至上千米,明显可以划分为5个三级层序的下寒武统(详见下文)形成了极为强烈的反差。因此,该剖面只能归为一个层序的下寒武统就成为把研究区域的下寒武统的5个三级层序归为一个二级层序的典型标志和重要理由,代表了一个典型的深水背景下的凝缩作用序列(图2)。

### 2.2 丹寨南皋剖面的层序划分

丹寨南皋剖面沉积背景总体上要比三都渣拉沟剖面稍浅一些,表现在下寒武统为一套夹碳酸盐岩的混合沉积而且厚度变大,可以进一步分为牛蹄塘组、九门冲组、变马冲组、杷榔组和清虚洞组(图3)。该剖面的下寒武统可以划分为5个三级层序,即 DS<sub>1</sub> 至 DS<sub>5</sub>,均以“CS(凝缩段)+HST(高水位体系域)”序列为特征。牛蹄塘组构成 DS<sub>1</sub>,下部的盆地相硅质岩和盆地相黑色页岩系组成层序的凝缩段,顶部的陆棚相粉砂质炭质页岩系地层组成层序的高水位体系域,而且前者的厚度明显大于后者的厚度,表明了寒武纪初期快速海侵之后与三级海平面下降相关的海退变浅效应的强度相对较小。

九门冲组构成三级层序 DS<sub>2</sub>,底部的盆地相黑色页岩系构成三级层序的凝缩段,中部的浅缓坡相灰岩地层组成三级层序的早期高水位体系域,上部较厚的夹粉砂岩的粉砂质泥页岩系地层则组成层序的晚期高水位体系域。

变马冲组以盆地相黑色页岩系为主,向上夹泥灰岩层,构成三级层序 DS<sub>3</sub> 的凝缩段单元;该三级层序的早期高水位体系域中为一套浅水陆棚相极薄层泥晶灰岩夹黑色泥页岩,晚期高水位体系域为发育大型滑塌构造的斜坡相薄层泥晶灰岩夹薄层钙质泥页岩,它们属于杷榔组下部的地层。

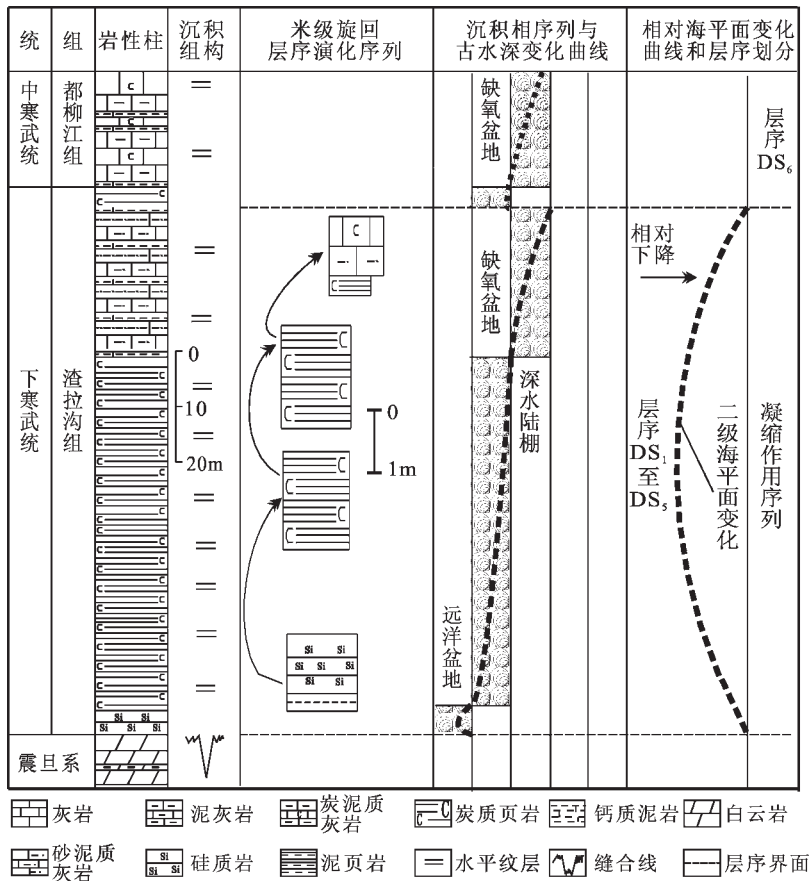


图 2 三都渣拉沟剖面下寒武统层序地层划分  
(剖面位置见图 1, 该剖面的下寒武统为一个深水慢速沉积所组成的凝缩作用序列, 与浅水背景下厚度上千米的下寒武统形成强烈的反差)

Fig.2 Diagram showing the sequence stratigraphic division of the Lower Cambrian at the Zhalagou section in Sandu (For the section location, see Fig. 1. The Lower Cambrian at this section is marked by a condensation succession made up of slow, deep-water deposits, which is a sharp contrast to the Lower Cambrian up to 1000 m thick in the shallow-water setting)

把榔组的上部地层为一个总体向上变浅序列而构成三级层序 DS<sub>4</sub>, 下部以钙质泥页岩系为主, 向上在钙质泥页岩中发育少量粉砂质物, 层序至顶部夹较多的泥晶灰岩地层; 清虚洞组所组成的三级层序 DS<sub>5</sub> 的沉积相序特征与 DS<sub>4</sub> 相似, 唯一不同的是在顶部的晚期高水位体系域之中发育夹白云岩层的灰岩地层, 与 DS<sub>1</sub> 至 DS<sub>3</sub> 中下部的大套黑色页岩系地层形成强烈的反差, 从而表明 DS<sub>5</sub> 顶部明显的变浅特征, 表明了 DS<sub>5</sub> 的顶界面也是一个二级层序界面。

### 3 过渡背景下寒武统的层序划分

在过渡背景中, 最为明显的变化是: 深水背景下寒武系底部的硅质岩地层相变为黑色炭质泥岩夹硅质岩, 明心寺组砂页岩系地层中发育较厚(200~400 m)的碳酸盐岩地层。余庆河坝和涪潭黄连坝剖面是过渡背景的典型代表, 下面以余庆河坝剖面(图 4)为例介绍其层序划分。

该剖面的下寒武统包括牛蹄塘组、明心寺组、金顶山组

和清虚洞组, 可以划分为 5 个三级层序即 DS<sub>1</sub> 至 DS<sub>5</sub>(图 4)。牛蹄塘组构成 DS<sub>1</sub>, 为一个总体向上变浅的沉积相序列, 底部的远洋盆地相硅质岩和中部的套盆地相炭质页岩一起构成层序的凝缩段, 层序的高水位体系域为陆棚相钙质泥页岩系地层和粉砂质钙质泥页岩系地层所构成。

明心寺组组成三级层序 DS<sub>2</sub>, 底部的炭质页岩系夹薄层泥质粉砂岩属于盆地相沉积, 组成该三级层序的凝缩段; 在早期高水位体系域之中, 为一套厚度达 332 m 的碳酸盐岩地层, 厚层块状泥晶生物丘灰岩为主, 局部为古杯生物丘灰岩, 见冲刷面以及充填于冲刷面之上的生物碎屑灰岩和砂屑灰岩透镜体, 构成缓坡背景下的生物丘灰岩, 暂时归为浅缓坡相; 层序的晚期高水位体系域为一套碎屑岩地层, 自下而上由陆棚相泥页岩变浅至滨岸相砂岩。该套灰岩地层与层序顶部的砂岩地层和层序底部的泥页岩地层形成极为明显的反差, 而且在空间上很快相变成碎屑岩系地层。

金顶山组的中下部地层组成三级层序 DS<sub>3</sub>, 为一个较为

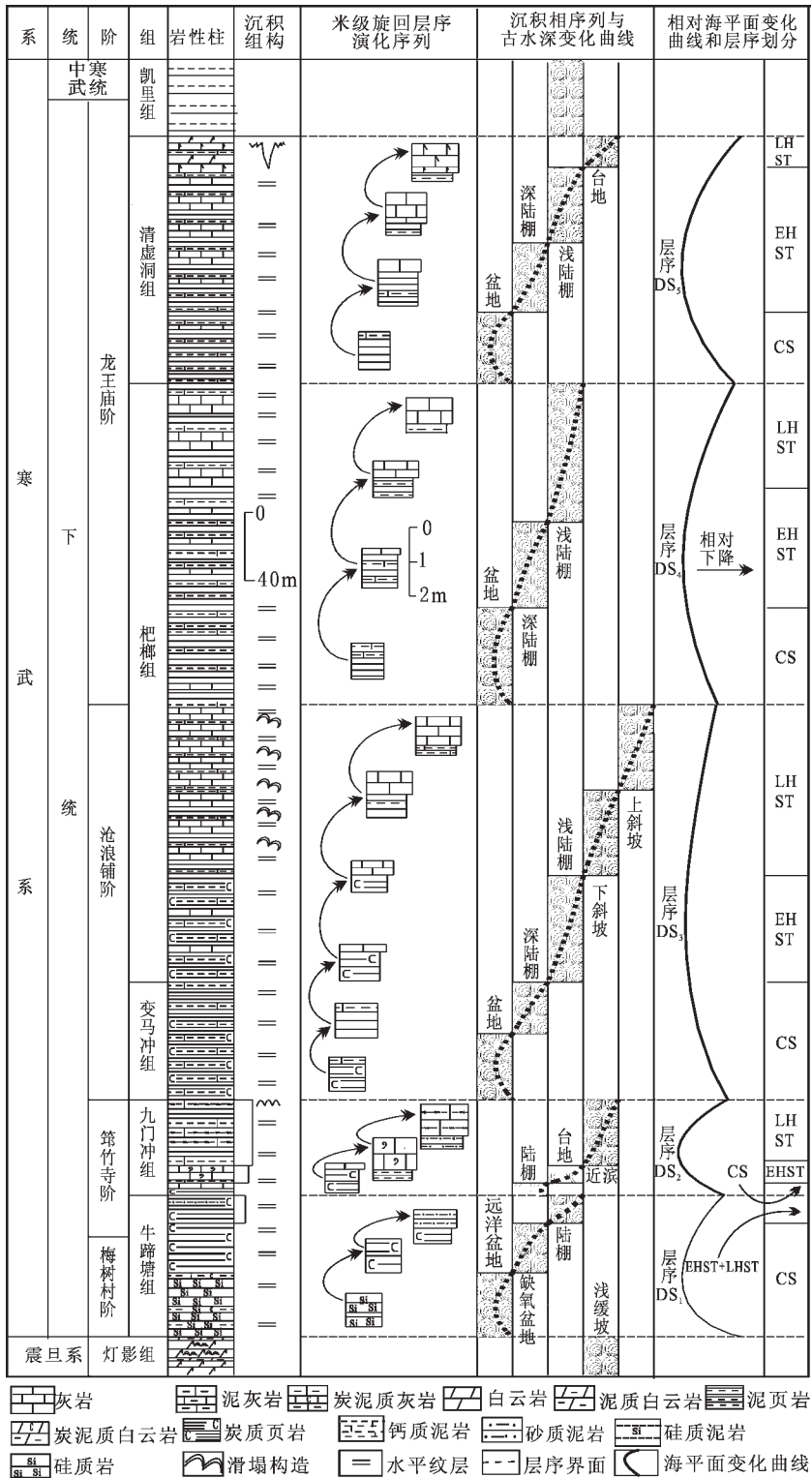


图 3 丹寨南皋剖面下寒武统层序地层划分(剖面位置见图 1)

CS—凝缩段;EHST—早期高水位体系域;LHST—晚期高水位体系域

Fig.3 Diagram showing the sequence stratigraphic division of the Lower Cambrian at the Nangao section in Danzhai

(The section location is illustrated in Fig.1)

CS—Condensed section;EHST—Early highstand systems tract;LHST—Late highstand systems tract

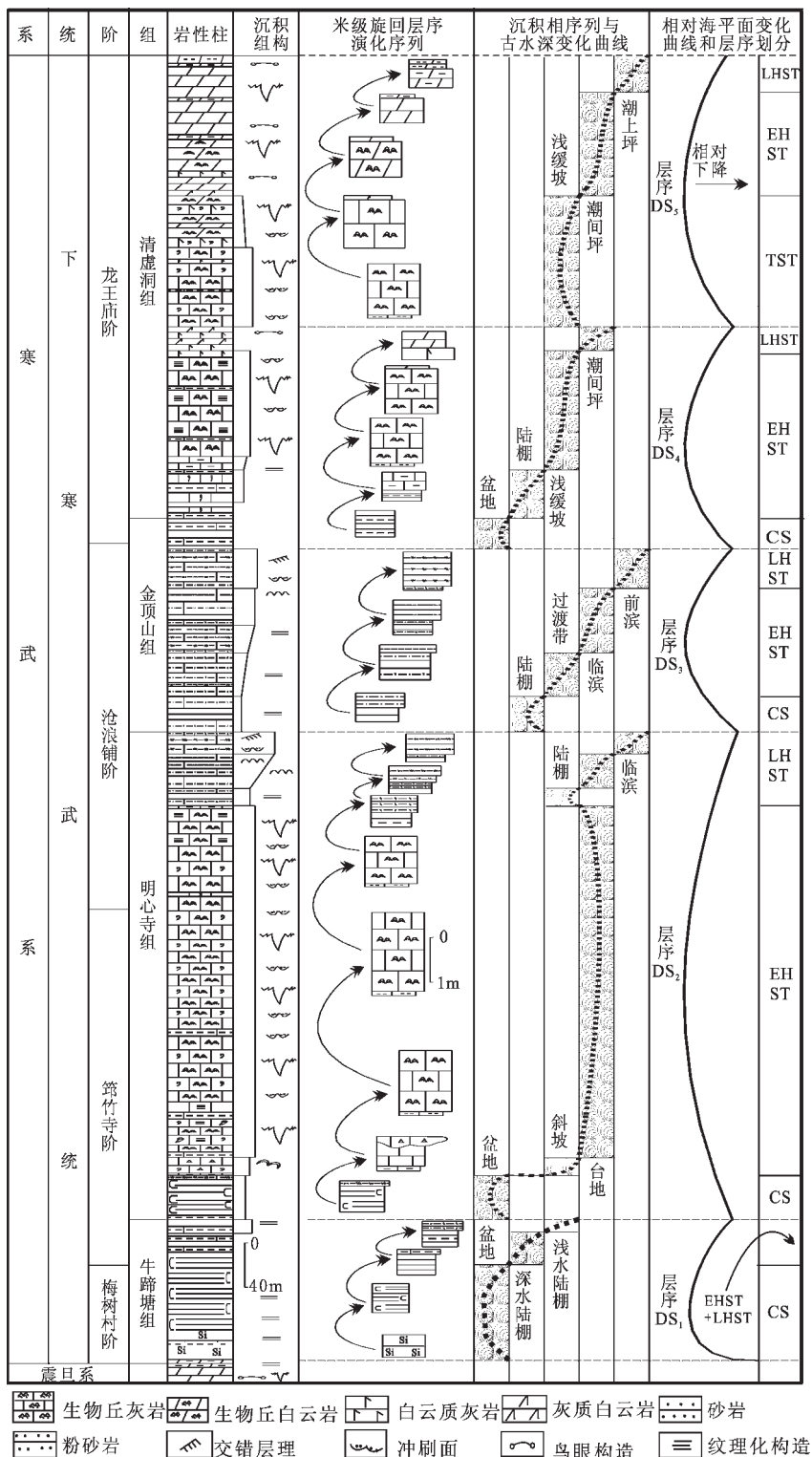


图4 余庆河坝剖面下寒武统层序地层划分(剖面位置见图1)

EHST—早期高水位体系域;TST—海侵体系域;LHST—晚期高水位体系域;CS—凝缩段

Fig.4 Diagram showing the sequence stratigraphic division of the Lower Cambrian at the Heba section in Yuqing (see Fig.1 for the section location)

EHST—Early high-stand system tract;TST—Transgressive systems tract;LHST—Late highstand systems tract;CS—Condensed section

典型的砂质进积型海岸沉积序列,自下而上包括:底部为陆棚相粉砂质泥页岩系,构成层序的凝缩段;过渡相粉砂质泥页岩夹粉砂岩层的地层,以及临滨相泥质粉砂岩夹粉砂质泥页岩一起构成层序的早期高水位体系域;在该层序的晚期高水位体系域,主要发育中厚层前滨相钙泥质细砂岩,砂岩层中普遍发育大中型交错层理,说明层序 DS<sub>3</sub> 三级海平面下降相应的环境变浅的强度要比 DS<sub>2</sub> 大。

金顶山组上部的盆地相钙质泥页岩地层组成层序 DS<sub>4</sub> 的凝缩段单元,它与清虚洞组下段的地层一起构成三级层序 DS<sub>4</sub>。清虚洞组底部的陆棚相钙质泥页岩夹薄层泥灰岩和泥晶灰岩地层,以及中部的发育泥晶生物丘灰岩的浅缓坡相灰岩地层一起构成 DS<sub>4</sub> 的早期高水位体系域;晚期高水位体系域为一套厚度只有 20 余米的清水潮坪相白云岩为主的地层。

清虚洞组上段的地层组成 DS<sub>5</sub>。其下部的缓坡相灰岩地层组成海侵体系域,灰岩层中发育冲刷面以及充填在冲刷面之上的生物碎屑灰岩和砂砾屑灰岩透镜体,普遍发育纹理化构造及块状泥晶生物丘灰岩;上部的以潮坪相白云岩为主的地层构成三级层序的早期高水位体系域,层序的晚期高水位体系域为一套厚度不大的局限潮上坪相泥质泥晶白云岩地层。

#### 4 浅水台地背景下寒武统的层序地层划分

浅水台地背景之中,下寒武统包括 3 个部分:下部为牛蹄塘组黑色炭质泥页岩系地层,中部为明心寺组和金顶山组的砂页岩系地层,上部为清虚洞组碳酸盐岩地层;下寒武统厚度超过千米,与东南部的渣拉沟组构成的下寒武统(图 2)形成鲜明的对比。遵义松林剖面是该背景的典型代表剖面(图 5)。

下寒武统包括牛蹄塘组、明心寺组、金顶山组清虚洞组,可以划分为 5 个三级层序即 DS<sub>1</sub> 至 DS<sub>5</sub>。牛蹄塘组的大部分构成 DS<sub>1</sub>,下部的盆地相黑色炭质页岩地层组成层序的凝缩段,上部的陆棚相粉砂质泥页岩系地层构成层序的高水位体系域。牛蹄塘组顶部的缺氧盆地相黑色炭质页岩系地层构成 DS<sub>2</sub> 的凝缩段单元,与明心寺组一起组成三级层序 DS<sub>2</sub>;该层序的早期高水位体系域以陆棚相粉砂质泥页岩系地层为主,晚期高水位体系域则以滨岸相钙泥质细砂岩为主。金顶山组的中下部组成三级层序 DS<sub>3</sub>,与 DS<sub>2</sub> 相似,由一个总体向上变浅的砂质进积型海岸沉积序列所构成,不同的是三级海平面上升所造成的环境加深的强度要小而未见盆地相黑色炭质页岩,而以“陆棚相粉砂质泥页岩(TST)+盆地相钙质泥页岩(CS)+陆棚相至过渡相砂页岩系(EHST)+滨岸相砂岩(LHST)”的序列为特征。即三级层序和顶部的滨岸相砂岩地层代表了与三级海平面变化相响应的沉积环境变浅,构成了类似于“强迫型“海退楔体系域”<sup>[29-30]</sup>的沉积。

金顶山组顶部的陆棚相砂页岩系地层构成 DS<sub>4</sub> 的海侵体系域,与清虚洞组下部的地层一起组成三级层序 DS<sub>4</sub>;清虚洞组底部的盆地相灰黑色钙质泥页岩构成该层序的凝缩段,

早期高水位体系域为一套浅缓坡相纹理化生物丘灰岩,其底部发育厚度为 7 m 左右的鲕粒滩灰岩;晚期高水位体系域由半清水潮坪相灰质白云岩和白云质灰岩、清水潮坪相泥晶结晶白云岩地层所构成。清虚洞组的上部地层组成三级层序 DS<sub>5</sub>,其海侵体系域为一套浅缓坡相生物碎屑泥晶灰岩,早期高水位体系域是一套发育纹理化构造和冲刷面的厚层块状生物丘灰岩,晚期高水位体系域以清水潮坪相白云岩为特征。

#### 5 下寒武统层序地层格架

研究区域的下寒武统,沉积相类型多样而且时空变化大,形成一个复杂而有序的岩石地层序列,该序列代表了一个震旦纪与寒武纪过渡时期大规模的淹没事件之后,碳酸盐台地的生长和演化过程(图 6~7)。寒武系底部的牛蹄塘组为一套深水黑色页岩系,厚度数十米至百余米,自北西向南东下部相变为深水硅质岩,在贵州中部的织金一带为一套含磷岩系;牛蹄塘组底部的深水相岩石直接覆盖在灯影组白云岩之上形成一个以快速加深为特征的淹没不整合面,而且代表了一个沉积相带空间分异不明显的“相的持续性现象”<sup>[6-7]</sup>。覆盖在牛蹄塘组之上的明心寺组和金顶山组,总体上为一套砂页岩系,明心寺组顶部以及金顶山组上部的滨岸相砂岩层代表了两次环境变浅,与牛蹄塘组黑色页岩系一起组成了碳酸盐台地的基底岩系,在陆棚至斜坡背景中的明心寺组和金顶山组中上部发育以泥晶生物丘灰岩夹古灰岩为特征的碳酸盐岩地层,代表碳酸盐台地的萌芽状态。随着沉积环境的逐渐变浅,研究区域真正成为碳酸盐台地的时间是清虚洞组地层所代表的碳酸盐台地的生长发育时期。在浅水台地相区从牛蹄塘组到清虚洞组的岩石地层序列是在一个总体加深—变浅过程之中,包含着 5 个海侵—海退旋回的复杂变化过程的结果;在空间上,受自北西向东南沉积环境由浅变深的古地理背景的控制,明心寺组、金顶山组和清虚洞组下部向南东的更深水位置相变为一套以陆棚相泥页岩系为主夹泥晶灰岩和角砾灰岩的地层,分别称为九门冲组、变马冲组和把榔组,覆盖在把榔组之上的清虚洞组以斜坡相角砾灰岩的普遍发育、白云岩不发育为特征,与下部为灰岩、上部以白云岩为主的浅水台地相中的清虚洞组形成鲜明的对照。再向南东的贵州三都一带,下寒武统总体上为一套覆盖在深水硅质岩之上的黑色页岩系,其中难以再进行划分而统称为渣拉沟组(图 6)。更为特殊的是,随着古地理背景从北西向东南的总体变深,下寒武统中上部的三级层序界面,特别是 DS<sub>4</sub> 和 DS<sub>5</sub> 的顶界面所代表的暴露间断面,向南东经过过渡型界面而演变为“淹没不整合型层序界面”;在浅水背景之中,层序界面从下向上由“淹没不整合型层序界面”(DS<sub>1</sub> 至 DS<sub>3</sub> 的底界面),经过过渡型层界面(DS<sub>4</sub> 的底界面),演变为以暴露间断面为特征的类型 II 层序界面(DS<sub>4</sub> 的顶界面)和类型 I 界面(DS<sub>5</sub> 的顶界面)。层序界面性质的时空变化表明了在与三级海平面变化旋回响应的沉积环境的加深和变浅效应也存在强

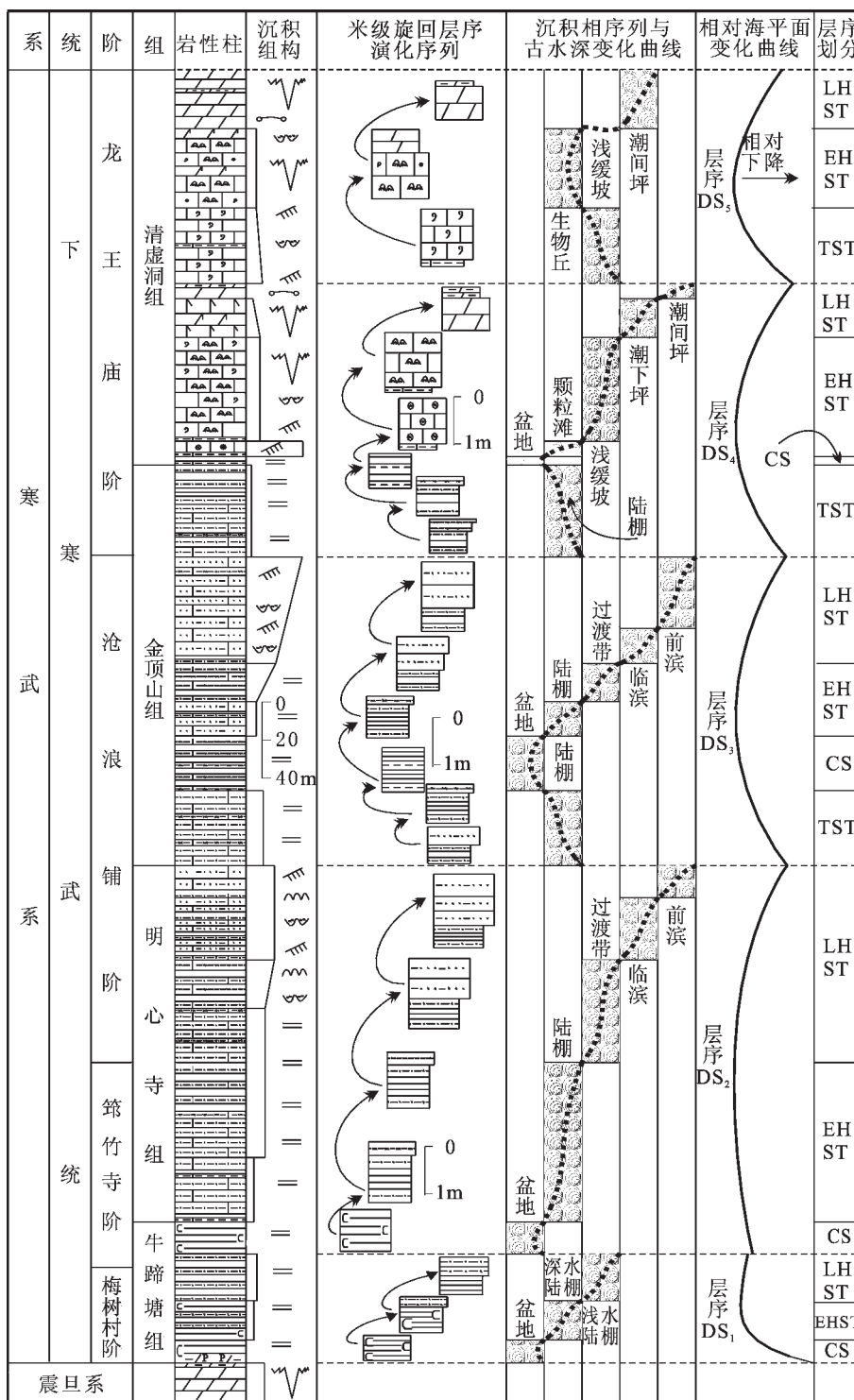


图5 遵义松林剖面下寒武统层序地层划分(剖面位置见图1)

LHST—晚期高水位体系域;EHST—早期高水位体系域;TST—海侵体系域;CS—凝缩段

Fig.5 Diagram showing the sequence-stratigraphic division of the lower Cambrian at the Songlin section in Zunyi (for the section location, see Fig.1)

LHST—Late highstand systems tract;EHST—Early high-stand system tract;TST—Transgressive systems tract;CS—Condensed section

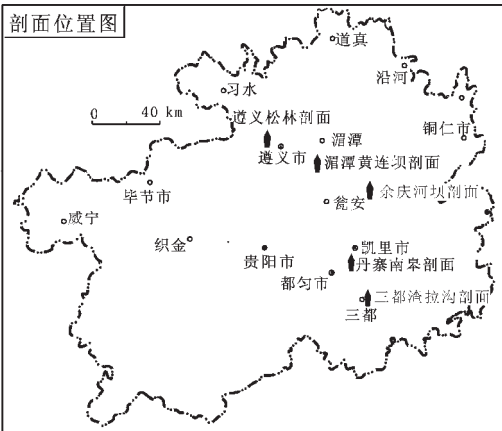
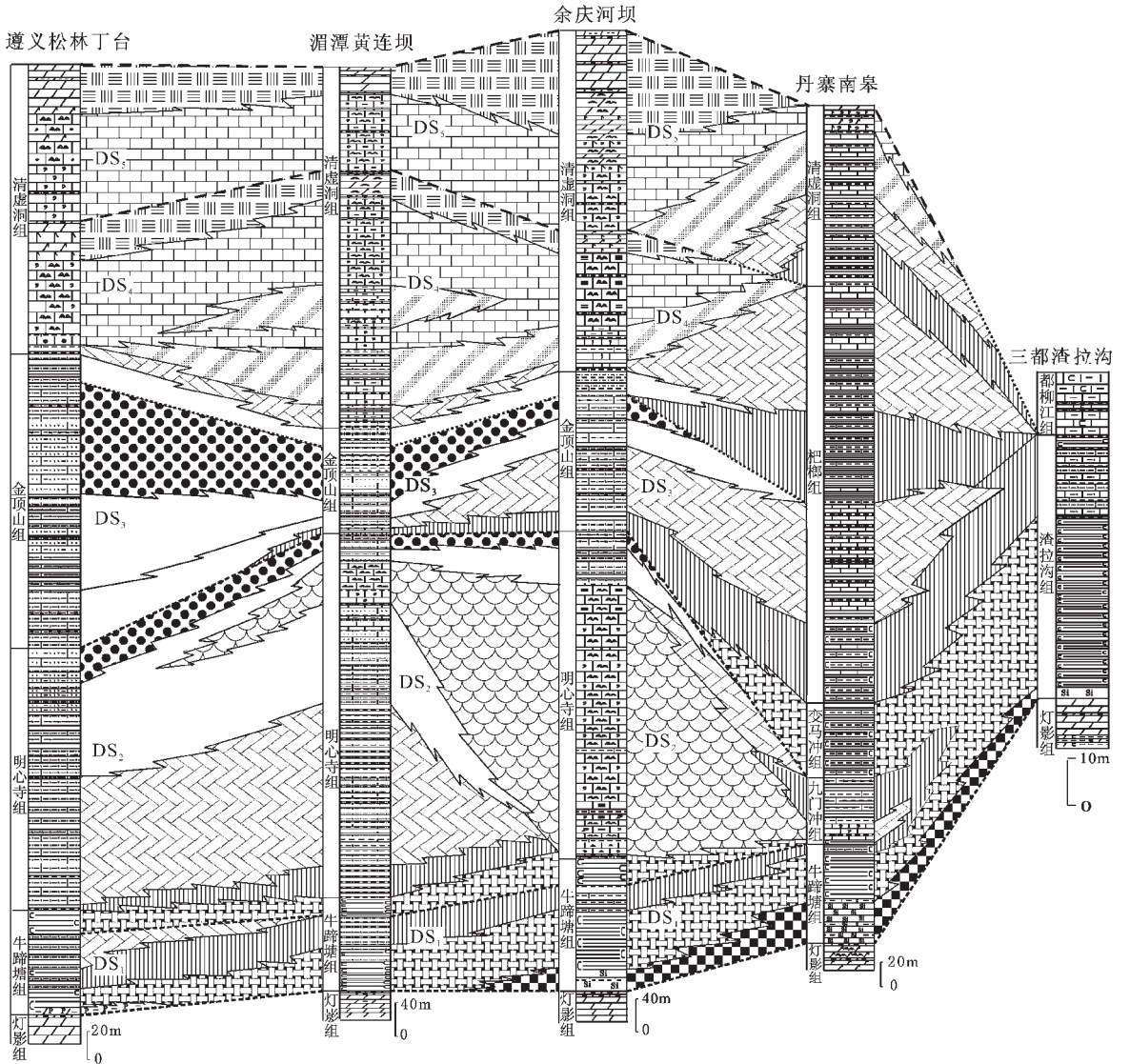



图 6 研究区域下寒武统岩石-层序地层格架

DS<sub>1</sub> 至 DS<sub>5</sub> 代表所划分出的 5 个三级层序,在三都渣拉沟剖面该 5 个三级层序变为一个难以进行三级层序划分的凝缩作用序列

Fig.6 Diagram showing the sequence lithostratigraphic framework of the Lower Cambrian in the study area

DS<sub>1</sub> to DS<sub>5</sub> represent 5 third-order sequences discerned in the Lower Cambrian, and these third-order sequences at the Sandu section become a condensation succession that is difficult to subdivide into third-order sequences



度的差异,这也说明了层序地层学研究是在时间和地层的框架内进行相迁移研究的有效手段。

从 DS<sub>1</sub> 至 DS<sub>5</sub>,组成了研究区域下寒武统的三级层序序列,它们构成一个二级海侵—海退构造层序,DS<sub>1</sub> 至 DS<sub>5</sub> 均以“凝缩段(CS)+高水位体系域(HST)”为特征而形成较为典型的“淹没不整合型层序”<sup>[8-9]</sup>;DS<sub>4</sub> 为一个“海侵体系域(TST)+凝缩段(CS)+高水位体系域(HST)”,该三级层序的凝缩段所代表的海侵事件是研究区域寒武系碳酸盐台地生长发育的转折点;DS<sub>4</sub> 与 DS<sub>5</sub> 的顶界面均为暴露间断面为代表的三级层序界面,而且 DS<sub>5</sub> 的顶界面所代表的暴露变浅更为明显、强度更大。这些变化代表了叠加在一个二级海侵加深—海退

变浅过程中的与三级海平面变化相响应的海侵加深—海退变浅的旋回性环境演变过程;在沉积背景较深的东南地区,以贵州三都一带为代表,下寒武统称渣拉沟组,为一套“盆地相硅质岩系+盆地相黑色页岩系+深水陆棚相泥页岩系”构成的岩石序列,难以进行三级层序的划分,构成一个类似于三级层序的沉积序列,以慢速的深水相沉积为主而组成一个特别的凝缩序列,与浅水台地相区下寒武统的5个三级层序形成鲜明的对照。层序界面性质以及三级层序的相序组构的空间变化和 时间演变特点更加明显地反映在年代—层序地层格架之中(图7)。

当把那些代表生物多样性事件的主要生物群标在层序

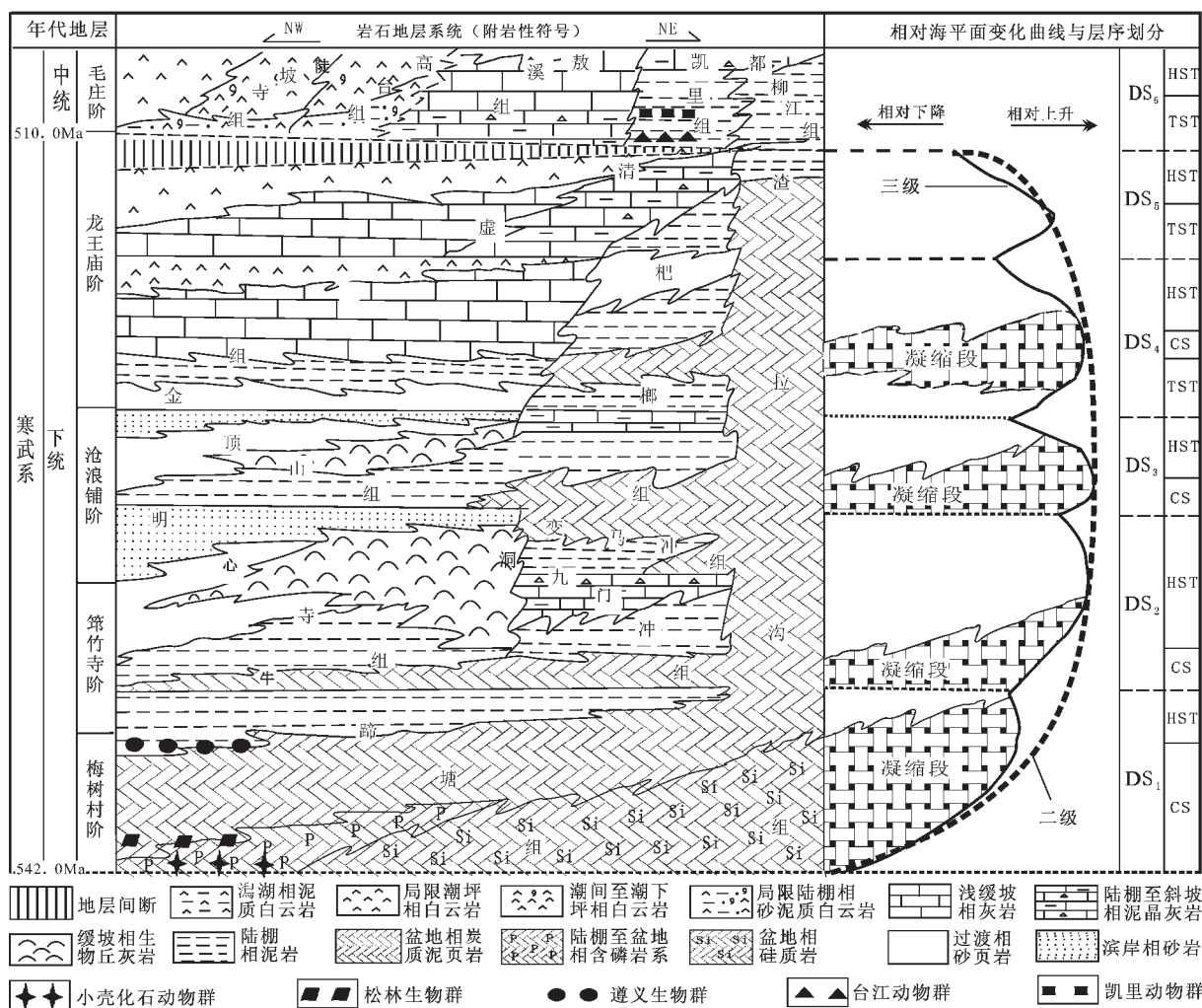


图7 研究区域下寒武统年代—层序地层格架

DS<sub>1</sub> 至 DS<sub>5</sub> 代表下寒武统所包含的5个三级层序,CS为凝缩段,TST代表海侵体系域,HST为高水位体系域;这5个三级层序组成一个二级层序;主要地层界限的年龄值引自 Gradstein 等<sup>[8]</sup>

Fig.7 Diagram showing the chronostratigraphic-sequence stratigraphic framework of the Lower Cambrian in the study area DS<sub>1</sub> to DS<sub>5</sub> refer to 5 third-order sequences of the Lower Cambrian, which may be grouped into one second-order sequence. "CS" represents the condensed section, "TST" refers to the transgressive systems tract, and "HST" refers to the highstand systems tract. The age values of the main stratigraphic boundaries are cited from Gradstein et al<sup>[8]</sup>

地层格架之中(图 7)即可发现,“小壳化石动物群”<sup>[10]</sup>产在寒武系底部,而且主要分布在研究区域的北西部的属于灯影组顶部<sup>[3,10]</sup>的含磷白云岩夹黑色页岩层的地层之中,在云南东部形成小壳化石生物滩<sup>[4]</sup>,该套产小壳化石的地层在贵州被称为“戈仲武组”<sup>[10]</sup>,相应的层位在较深水的的海带为一套以硅质岩为主的沉积;因此,从时间上讲,小壳化石动物群与寒武纪初期的快速海侵相对应,在空间上发育在相对较浅水的沉积背景之中。小壳化石动物群所发育层位之上的是“松林生物群”<sup>[20,31]</sup>,该生物群产在三级层序 DS<sub>1</sub> 的海侵作用过程中;在该三级层序的高水位体系域的下部发育“遵义生物群”,以 *Naraoia*、*Isoxys* 为特征,被认为是代表寒武纪生物大爆发的“澄江生物群”<sup>[19]</sup> 在水体环境较深的背景下的生物组合<sup>[20,29]</sup>。总之,以广泛分布的缺氧黑色炭质页岩系为特征的牛蹄塘组所构成的三级层序 DS<sub>1</sub>, 较厚的凝缩段单元代表了寒武纪初期的大幅度快速海侵作用特点,不但使震旦纪灯影组白云岩所组成的碳酸盐台地消亡,而且伴随着地球生物圈的重大变化,小壳化石动物群的较短的分布时限和快速灭绝,后生生物的大规模的出现均发生在该三级层序的海平面上升期间的海侵作用过程之中,从“松林生物群”到“遵义生物群”随着海侵幅度和强度的变小,生物多样性事件的变化强度在增强。

早寒武世末期的海退事件所造成的区域不整合面在滇东和黔西表现得较为明显,以该不整合面为标志曾经命名为“兴凯运动”<sup>[2-4]</sup>。在属于研究区域寒武纪第二个二级层序海侵作用过程初期,在较深水背景下的贵州台江发育属于非典型布尔吉斯型动物群的“台江动物群”<sup>[20]</sup>，“台江动物群”之后则发育意义更加重大的“凯里动物群”<sup>[20]</sup>。如果说“台江动物群”意味着早寒武世末期的一次生物多样性事件,那么,凯里动物群则是寒武纪生物大爆发的第三个主要证据。总体来讲,寒武纪生物大爆发包括了三幕:第一幕是广泛分布于全球寒武系底部的“小壳化石动物群”,第二幕是富含软躯体化石的“澄江动物群”(或遵义生物群),第三幕是中寒武世早期的“凯里动物群”。第一幕和第二幕与寒武纪早期的大规模快速海侵作用存在关联,第三幕则与早、中寒武世之交的大规模海侵作用相联系。

生物事件与沉积事件之间的复杂关系<sup>[32-33]</sup>,还存在许多有待于进一步研究的问题。震旦纪与寒武纪之间的快速海侵作用及其相关的台地淹没事件之后,寒武纪生物大爆发,同样,在中国南方二叠纪与三叠纪之交的快速海侵作用和台地淹没事件相对应的是地球历史上最大规模的“生物灭绝事件”<sup>[34-37]</sup>。因此,海侵—海退事件所代表的沉积环境变化与生物变化之间的关系是一个极为复杂的关系。还要强调的是,在目前的《全球地质年表》<sup>[38]</sup>中,寒武系还没有正式认可的阶和统,彭善池<sup>[39]</sup>等以中国南方的寒武系为主要研究对象提出了一个“4 统 9 阶的华南寒武系年代地层划分方案”,虽然在国内还未得到完全认可<sup>[5,40]</sup>,但是他们所提出的“排碧阶”和“芙蓉统”等年代地层单位在 2003 年 8 月得到了国际地球科学联合会的批准。就像对特殊的生物礁岩系的层序地层研究<sup>[41]</sup>和对层序界

面上常常发育的古喀斯特地貌进行追踪<sup>[42]</sup>一样,在笔者的层序地层划分方案中,DS<sub>1</sub> 的形成时限明显偏大<sup>[43]</sup>,表明了寒武纪早期在研究区域由于快速海侵造成的凝缩作用会造成层序划分的失真,这需要对滇东地区的详尽研究才能得到合理的修正;对三级层序 DS<sub>4</sub> 和 DS<sub>5</sub> 顶界面的古喀斯特作用标志,也需要在滇东地区等的更加浅水背景中进行全面追踪,才能得到更加合理的阐释。笔者希望,随着上扬子区进一步的研究能得到同行公认的下寒武统层序地层划分和对比的标准和模式。

## 6 结语

上扬子区,特别是贵州及其邻区,下寒武统构成一个极为特别的层序地层格架。在下寒武统所包含的 5 个三级层序之中,层序界面由典型的淹没不整合型界面演变为暴露间断面,代表了发育在以震旦纪碳酸盐台地被淹没消亡之后的寒武纪碳酸盐台地的生长和发育过程。寒武纪早期的快速海侵事件,不但形成了广泛分布的黑色页岩系地层,而且伴随着这些快速海侵事件的是“寒武纪生物大爆发”所代表的生物多样性事件,这可能与海侵作用所造成的生态空间的扩展存在关联。但是,寒武纪初期“小壳动物化石群”的快速消亡,也发生在快速海侵作用过程之中。因此,生物事件与沉积事件特别是海侵—海退事件之间的关系是很复杂的,其中所包含的无机环境变化与有机生物变化之间的本质联系等问题还有待于今后进一步研究。

## 参考文献(References):

- [1] 贵州省区域地质调查院. 贵州地层典[M]. 贵阳:贵州科技出版社, 1996.1~319.  
Regional Geological Survey Institute of Guizhou Province. Stratigraphic Lexicon of Guizhou Province [M]. Guiyang: Guizhou Scientific and Technological Press, 1996.1~319(in Chinese).
- [2] 赵自强, 丁启秀. 中南区区域地层[M]. 武汉:中国地质大学出版社, 1996.29~70.  
Zhao Ziqiang, Ding Qixiu. Regional Stratigraphy in Central-South of China [M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1996.29~70(in Chinese).
- [3] 董卫平. 贵州省岩石地层[M]. 武汉:中国地质大学出版社,1997. 48~142.  
Dong Weiping. Lithostratigraphy in Guizhou Province[M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1997,48~142(in Chinese).
- [4] 张远志. 云南省岩石地层[M]. 武汉:中国地质大学出版社, 1997. 24~100.  
Zhang Yuanzhi. Lithostratigraphy in Yunnan Province[M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1997,24~100(in Chinese).
- [5] 项礼文, 朱兆玲, 李善姬, 等. 中国地层典(寒武系) [M]. 北京:地质出版社, 1999.1~95.  
Xiang Liwen, Zhu Zhaoling, Li Shanji, et al. Chinese Stratigraphic Lexicon [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1999.1~95(in

- Chinese).
- [6] Einsele G. Event deposits: the role of sediment supply and relative sea-level changes—overview [J]. *Sedimentary Geology*, 2000,104 (Special Issue): 11~37.
- [7] 梅冥相, 高金汉. 岩石地层学的相分析方法与原理 [M]. 北京:地质出版社, 2005.1~287.  
Mei Mingxiang, Gao Jinhan. Facies-Analysis Method and Principle of Lithostratigraphy[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2005. 1~287(in Chinese).
- [8] Comez J J. Condensed processes in shallow platform. *Sedimentary Geology* [J]. *Sedimentary Geology*, 1994,92:147~159.
- [9] 梅冥相. 淹没不整合型碳酸盐三级旋回层序——兼论碳酸盐台地的凝缩作用 [J]. *岩相古地理*, 1996,16(6): 42~33.  
Mei Mingxiang. Third-order carbonate cyclic sequence of drowning unconformity type: discussion on the condensation of carbonate platform [J]. *Sedimentary Facies and Paleogeography*, 1996,16(6): 24~33(in Chinese with English abstract).
- [10] 尹恭正. 贵州寒武系的划分与对比 [J]. *贵州地质*, 1996,13(2): 15~29.  
Yin Gongzheng. Division and correlation of the Cambrian in Guizhou [J]. *Guizhou Geology*, 1996,13(2): 15~29(in Chinese with English abstract).
- [11] 周永章, 刘建明, 陈多福. 华南古海洋热水沉积作用研究概述及若干认识 [J]. *矿物岩石地球化学通报*, 2000,19(2): 114~118.  
Zhou Yongzhang, Liu Jianming, Chen Duofu. Thread and knowledge to fossil seafloor-hydrothermal sedimentation of south China [J]. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 2000,19(2): 114~118(in Chinese with English abstract).
- [12] 蒲心纯, 周浩达, 王熙林, 等. 中国南方寒武纪岩相古地理与成矿作用 [M]. 北京:地质出版社, 1994,1~191.  
Pu Xinchun, Zhou Haoda, Wang Xilin, et al. Cambrian Lithofacies, Paleogeography and Mineralization in South China [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1994,1~191(in Chinese with English abstract).
- [13] 刘宝珺, 许效松. 中国南方岩相古地理图集 (震旦纪-三叠纪) [M]. 北京:科学出版社, 1994.1~239.  
Liu Baojun, Xu Xiaosong. Atlas of Sedimentary-Facies and Palaeogeography in South China [M]. Beijing: Science Press, 1994.1~239(in Chinese).
- [14] 冯增昭, 彭永民, 金振奎, 等. 中国南方寒武纪和奥陶纪岩相古地理 [M]. 北京:地质出版社, 2001.1~221.  
Feng Zengzhao, Peng Yongmin, Jin Zhenkui, et al. Lithofacies and Palaeogeography of the Cambrian in South China [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2001.1~221(in Chinese with English abstract).
- [15] Tucker M E. *Sedimentary Petrology: An Introduction to the Origin of Sedimentary Rocks* [M]. Oxford: Blackwell Science, 2001.1~389.
- [16] Miall A D. *The Geology of Stratigraphic Sequences* [M]. Berlin: Springer-Verlag, 1997.1~433.
- [17] 高林志. 中国新元古代—早古生代早期生物爆发与地球演化节律 [J]. *现代地质*, 1999,13(2): 234~235.  
Gao Linzhi. Neoproterozoic and early Palaeozoic biological explosion and earth evolutionary rhythms [J]. *Geosciences*, 1999,13 (2): 234~235(in Chinese with English abstract).
- [18] 钱逸. 中国小壳化石分类学与生物地层学 [M]. 北京:科学出版社, 1999.1~247.  
Qian Yi. *Taxonomy and Biostratigraphy of Small Shelly Fossils in China* [M]. Beijing: Science Press, 1999.1~247 (in Chinese with English abstract).
- [19] 侯先光, 杨·伯格斯特琼, 王海峰, 等. 澄江动物群 (5.3 亿年前的海洋动物群) [M]. 昆明:云南科技出版社, 1999.1~170.  
Hou Xianguang, Jan Bergström, Wang Haifeng, et al. The Chengjiang Fauna (Exceptionally Well-Preserved Animals from 530 Million Years Ago) [M]. Kunming: Yunnan Sciences and Technology Press, 1999.1~170(in Chinese with English abstract).
- [20] 赵元龙. 贵州—古生物王国 [M]. 贵阳: 贵州科技出版社, 2002. 94~159.  
Zhao Yuanlong. Guizhou—Palaeogeontological Kingdom [M]. Guiyang: Guizhou Scientific and Technological Press, 2002.94~159 (in Chinese).
- [21] Wang Chengshu, Zhang Yuxu, Gao Linzhi, et al. Sequence stratigraphy of Cambro-Ordovician carbonates in the Western Hills, Beijing [A]. In: Deng Naigong (ed.). 1996. 30th International Geological Congress Field Trip Guide, Volume 6, T202.1 – T202.11[C]. Beijing: Geological Publishing House, 1996.9~38.
- [22] 梅冥相, 马永生, 梅仕龙, 等. 华北寒武系层序地层格架及碳酸盐台地演化 [J]. *现代地质*, 1997,11(3): 275~282.  
Mei Mingxiang, Ma Yongsheng, Mei Shilong, et al. Sequence-stratigraphical framework and the evolution of carbonate platform in the Cambrian of the North China Platform [J]. *Geosciences*, 1997,11(3): 274~282(in Chinese with English abstract).
- [23] Meng Xianghua, Ge Ming. Cyclic sequences, events and evolution of the Sino-Korea Plate, with a discussion on the evolution of molar-tooth carbonates, phosphorites and source rocks [J]. *Acta Geologica Sinica (English edition)*, 2003,77(3): 626~631.
- [24] Mei Mingxiang, Ma Yongsheng, Deng Jun, et al. From cycles to sequences: sequence stratigraphy and relative sea level changes for the late Cambrian of the North China Platform [J]. *Acta Geologica Sinica (English edition)*, 2005,79(3): 372~383.
- [25] Mei Mingxiang, Ma Yongsheng, Guo Qingying. Basic lithofacies-succession model for Wumishan cyclothems: Their Markov chain analysis and regularly vertical stacking pattern in the third-order sequences [J]. *Acta Geologica Sinica (English edition)*, 2001,75(4): 421~431.
- [26] Mei Mingxiang, Yu Bingsong, Jin Weiguang. Sequence stratigraphy of the desert system: A case study of the Lower Cretaceous in the Kuqa Basin in Xinjiang, northwestern China [J]. *Acta Geologica Sinica (English edition)*, 2004,78(3): 744~755.
- [27] Vail P R, Mitchum R M, Thompson III S. Seismic stratigraphy and global changes of sea level, Part 3: Relative changes of sea level from coastal onlap [A]. In: Payton C E (ed.). *Seismic stratigraphy—*

- applications to hydrocarbon exploration [C]. AAPG Memoir, 1977,26:63~97.
- [28] Mitchum R M, Van Wagoner J C. High-frequency sequences and their stacking pattern:sequence stratigraphic evidence of high frequency eustatic cycles[J]. *Sedimentary Geology*, 1991,70:131~160.
- [29] Hunt D, Tucker M E. Stranded parasequences and forced regressive wedge system tract:deposition during base-level fall [J]. *Sedimentary Geology*, 1992, 81:1~9.
- [30] 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 Xingde. Forced regression and forced regressive wedge system tract: Revision on traditional EXXON model of sequence stratigraphy [J]. *Geological Science and Technology Information*, 1999,19(2):17~21(in Chinese with English abstract).
- [31] Steiner M, Wallis E, Erdemann B D. Submarine hydrothermal exhalative ore layers in black shales from south China and associated fossils; insights into a lower Cambrian facies and bio-evolution [J]. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2003,169:165~191.
- [32] Hallam A, Wignall P G. Mass extinction and sea-level changes [J]. *Earth-Sciences Review*, 1999,48:217~250.
- [33] Racki G, Wrzolek T. Cause of mass extinction [J]. *Lethaia*, 2001, 34:200~202.
- [34] Jin Y, Zhang J, Shang Q. Two Phases of the end-Permian mass extinction [J]. *Canadian Society of Petroleum Geologists Memoir*, 1994,17:813~822.
- [35] 殷鸿福, 童金南. 层序地层与年代地层的成因关系[J]. *科学通报*, 1995,40(6):539~541.  
Yin Hongfu, Tong Jinnan. The genetic relationship between sequence stratigraphy and chronostratigraphy [J]. *Chinese Scientific Bulletin*, 1995,40(6):539~541(in Chinese).
- [36] Mei Mingxiang, Ma Yongsheng, Deng Jun. Late Paleozoic sequence-stratigraphic frameworks and sea level changes in Dianqiangui Basin and its adjacent areas with systematic revisions of regional unconformities [J]. *Journal of China University of Geosciences*, 2004,15(1):55~69.
- [37] 梅冥相, 马永生, 邓军, 等. 滇黔桂盆地及其邻区石炭纪至二叠纪层序地层格架及三级海平面变化的全球对比 [J]. *中国地质*, 2005,32(1):13~24.  
Mei Mingxiang, Ma Yongsheng, Deng Jun. Sequence-stratigraphic frameworks and the correlation of third-order sea level changes for the Permo-Carboniferous of the Dianqiangui basin and its adjacent areas [J]. *Geology in China*, 2005,32 (1):13~24 (in Chinese with English abstract).
- [38] Gradstein F M, Ogg J G, Smith A G, et al. A new geological scale with special reference to Precambrian and Neogene [J]. *Episodes*, 2004,27(2):83~100.
- [39] Peng Shanchi. Chronostratigraphic subdivision of the Cambrian of China [J]. *Geologica Acta*, 2003,1(1):135~144.
- [40] 全国地层委员会. 中国区年代地层(地质年代)表说明书[M]. 北京:地质出版社, 2002.1~72.  
National Stratigraphical Committee. Regional Chronostratigraphic (Geological Chron) Table and Its Descriptions [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2002.1~72(in Chinese).
- [41] 肖传桃, 朱忠德, 李相明. 中扬子台地下奥陶统含礁层系层序地层研究[J]. *中国地质*, 2003,30(3):274~280.  
Xiao Chuantao, Zhu Zhongde, Li Xiangming. Sequence stratigraphy of Lower Ordovician reef-bearing strata in the Middle Yangtze platform [J]. *Geology in China*, 2003,30 (3):274~280(in Chinese with English abstract).
- [42] 何斌, 王雅玫, 姜晓玮. 上扬子西部茅口组灰岩顶部古喀斯特地貌的厘定及地质意义[J]. *中国地质*, 2004,31(1):46~50.  
He Bin, Wang Yamei, Jiang Xiaowei. Paleo-karst landforms on top of the Maokou Formation in the west of the Upper Yangtze platform and its geological significance [J]. *Geology in China*, 2004,31(1):46~50(in Chinese with English abstract).
- [43] 梅冥相, 马永生, 邓军, 等. 上扬子区下古生界层序地层格架的初步研究[J]. *现代地质*, 2005,19(4):550~562.  
Mei Mingxiang, Ma Yongsheng, Deng Jun, et al. Preliminary study on sequence-stratigraphic framework for the Lower Palaeozoic of the Upper Yangtze region [J]. *Geosciences*, 2005,19(4):550~562(in Chinese with English abstract).

## Sequence stratigraphic division and framework of the Lower Cambrian in the Upper Yangtze region

MEI Ming-xiang<sup>1,2</sup>, ZHANG Hai<sup>1,2</sup>, MENG Xiao-qing<sup>1,2</sup>, CHEN Yong-hong<sup>1,2</sup>

(1. State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China

2. School of Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

**Abstract:** The Lower Cambrian in the Upper Yangtze region, especially in Guizhou and its adjacent areas, is completely developed and marked by a succession from black shales to carbonate rocks. The drowning event of the platform that occurred at the turn from the Sinian to the Cambrian resulted in the formation of a series of black shales of anoxic basin facies represented by the Niutitang Formation in the study region. With shallowing of the sedimentary environment a sequence of carbonate rocks represented by the Qingxudong Formation formed at the top of the Lower Cambrian. Thus the Lower Cambrian forms a second-order sequence, which may be subdivided into five third-order sequences, forming a regular cyclic succession of transgression-regression. The third-order sequences in the second-order sequence form a regular vertical stacking pattern. From the bottom to the top, the third-order sequences change from the succession of “CS (condensed section)+HST (highstand systems tract)” to the succession of “TST (transgressive systems tract)+CS+HST”, and correspondingly the drowning-type sequence boundary changes to the pronounced exposed hiatus-type one, implying the similarity between the second-order sequence and the third-order sequence in respect to lithofacies organization. This temporal change produced some differences in different paleogeographic settings. From northwest to southeast, the sedimentary environment deepened and the Lower Cambrian became thin and changed into a condensed succession that cannot be subdivided into third-order sequences. On the basis of the sequence stratigraphic divisions at typical sections with different paleogeographic environments and according to the elementary features of the third-order sequence, i.e. the regularity of sedimentary facies succession in space and the synchronicity of environmental changes in time, we may establish a sequence stratigraphic framework that can demonstrate “two types of facies change surface and two types of diachroneity” in the stratigraphic record. This sequence stratigraphic framework shows that the Lower Cambrian is a complex and regular stratigraphic succession, representing the growth process of the carbonate platform with the condensed succession as the base. Concomitantly with the rapid transgression in the Early Cambrian, the ecological space expanded, which formed the antecedent conditions of paleogeographic setting for the “Cambrian explosion of life”. In addition, the very complex, close relationship between the depositional events and the biological diversity events means many problems that remain to be further studied in the future.

**Key words:** sequence stratigraphic division; Lower Cambrian; Upper Yangtze region

---

**About the first author:** MEI Ming-xiang, male, born in 1965, Ph.D and professor, specializes in sedimentology and stratigraphy; E-mail: meimingxiang@263.net.