

文章编号: 1000-0550(2006)05-0617-10

上扬子区中、上寒武统的层序地层划分和 层序地层格架的建立^①

梅冥相^{1,2} 刘智荣^{1,2} 孟晓庆^{1,2} 陈永红^{1,2}

(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中、上寒武统发育完整,是一套从少量灰岩到大套白云岩所组成的地层序列;以娄山关群白云岩为代表的自北西而南东的进积作用穿时,代表了与二级海退作用相对应的碳酸盐台地进积作用的基本特征,从而形成一个复杂而有序的层序地层格架。在研究区域,特别是浅水台地背景之中,从厚度较小的含化石的陡坡寺组到厚度近千米的贫乏化石的娄山关群白云岩,给层序地层研究带来了许多困难;而在较深水背景之中的中、上寒武统,沉积相序列的有序性正好弥补浅水背景中的不足。中、上寒武统组成一个二级层序,其中可以进一步划分为七个三级层序,形成一个有序的海侵—海退旋回序列。伴随着上述时间变化的同时,从北西向南东,古地理背景由浅变深,中、上寒武统由大套白云岩地层相变为泥页岩夹灰岩地层。在不同古地理背景的典型剖面的层序划分的基础上,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。研究区域的中、上寒武统层序地层格架的建立表明:虽然地层的沉积记录较为复杂,但是建立在以“沉积物的时间演化序列与沉积相的空间展布形式所代表的规律性”为基础的层序地层研究,可以从复杂的地层记录之中寻找出更多的规律性。

关键词 上扬子区 中、上寒武统 层序划分

第一作者简介 梅冥相 男 1965 年出生 博士 教授 沉积学与地层学 E-mail: meimingxiang@263.net

中图分类号 P539.2 **文献标识码** A

1 引言

在上扬子区,特别是贵州和邻区,中、上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,从北西部的大套贫乏化石的白云岩地层(娄山关群)相变到南东部的大套泥页岩夹灰岩地层^[1-3]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(图 1),也为层序地层研究带来了一些困难。在浅水台地背景之中,贵州的中、上寒武统划分产化石且厚度较小的陡坡寺组和贫乏化石而厚度较大的娄山关群;在深水盆地区,中、上寒武统为一套泥灰岩夹泥页岩系的地层,分为都柳江组、杨家湾组和三都组;二者之间的过渡区域则划分为凯里组、甲劳组和娄山关群,只是在该区域娄山关群大多分布在上寒武统。从沉积物的时间演化序列和沉积相的空间展布形式所代表的规律性入手^[6-8],从各主要剖面点的层序划分到区域上的层序地层格架的建立,力图揭示研究区域中、上寒武统复杂有序

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,为贫乏化石的厚度较大的娄山关群的进一步划分可以提供一种较为有效的途径,同时为揭示更多的沉积学规律奠定良好的基础。研究区域的中、上寒武统与华北地台的中、上寒武统存在较多的相似性^[9,10],即华北地台“三山子白云岩”自南而北的进积尖灭与上扬子区的“娄山关群”自北西而南东的进积尖灭非常相似;但是,从浅水背景到深水背景三级层序的相序组构的较大变化,以及层序界面类型的变化等等,就像对前寒武纪层序地层划分^[11]和对沙漠沉积体系的层序地层研究一样^[12]与传统的 EXXON 层序地层模式^[13,14]存在一些差异,赋予该地区中上寒武统层序地层划分的探索性。更为有趣的是,早、中寒武世之交的海退事件所发生的时间似乎要早于中、上寒武统的界线,这似乎意味着沉积环境的变化要超前于生物变化;早寒武世晚期的“台江动物群”和中寒武世早期的“凯里动物群”^[15-16]所代表的生物多样性事件,正好与中、上寒武统所组成的二

① 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。

收稿日期: 2005-10-27 收修稿日期: 2006-04-17

级层序的海侵作用阶段相对应,这是否就说明海侵作用所产生的生态空间的扩展有利于形成生物多样性事件,而生物灭绝事件对应于海退事件^[17~19],还有待于今后进一步研究。在前人岩相古地理研究的基础上^[20~22],我们的工作所采用的方法是“从岩相序列到米级旋回、从沉积相序列到三级层序划分”的理念^[23~25],对上扬子区中、上寒武统进行层序划分;因此,在寒武系所识别的12个三级层序(Depositional sequence(DS);DS₁—DS₁₂)中^[26],中、上寒武统为主的地层构成了7个三级层序(DS₆—DS₁₂)。

2 深水背景中、上寒武统的层序划分

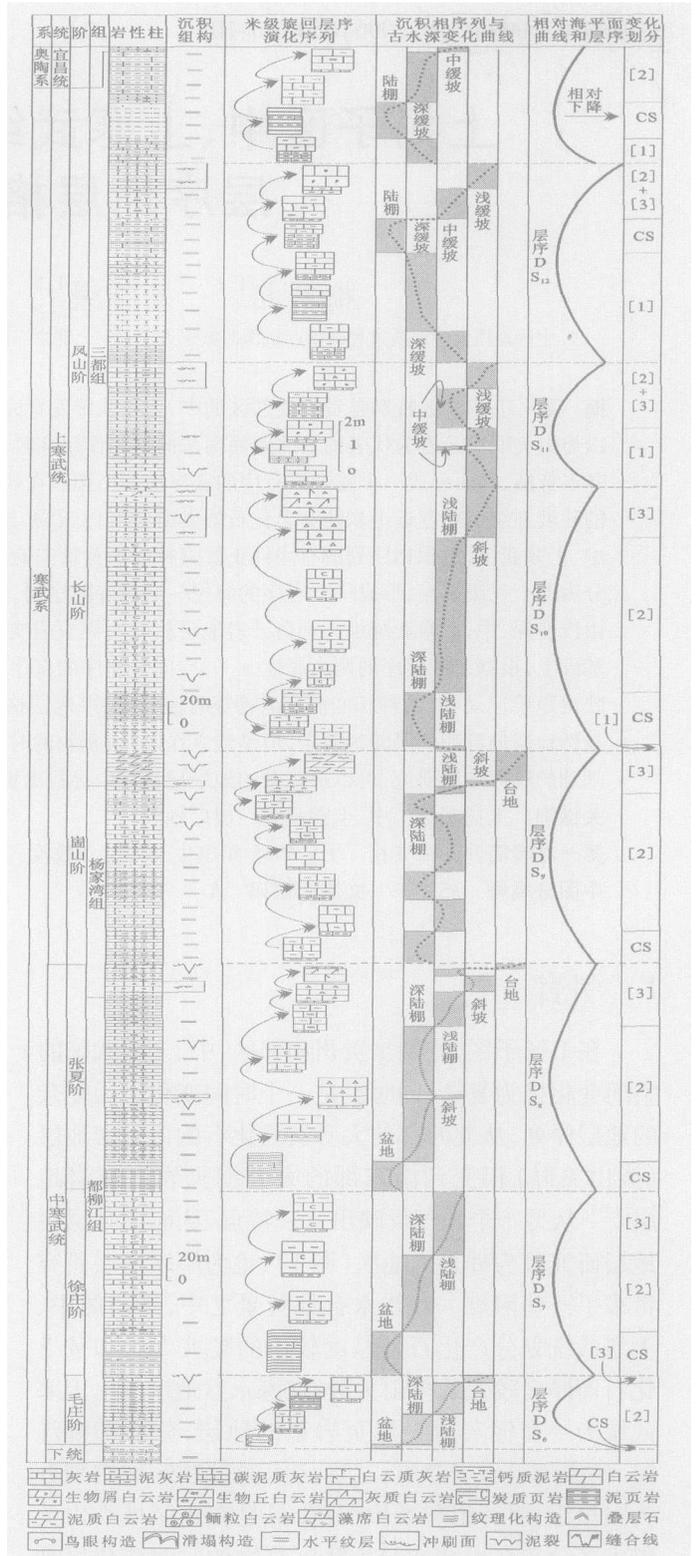
2.1 三都渣拉沟剖面的层序划分

该剖面的中上寒武统主要为大套陆棚相至盆地相泥页岩和泥灰岩系所构成,中寒武统包括都柳江组和杨家湾组的底部地层,上寒武统包括杨家湾组的大部分以及三都组^[2,3](图1)。

在都柳江组中,与三级海平面上升相对应的是陆棚相至盆地相泥页岩系的发育,而与三级海平面变浅相对应的环境变浅过程则是形成夹角砾灰岩透镜体和透镜层的泥晶灰岩地层乃至白云岩地层;由此可以在都柳江组和杨家湾组底部的地层之中可以划分出三个三级层序DS₆至DS₈。

三级层序DS₆的底部是属于渣拉沟组顶部的盆地相黑色泥页岩系地层所组成的凝缩段,向上变为以灰黑色碳质泥灰岩为主,层序的顶部发育台地相泥晶灰岩,由此而组成一个总体向上变浅的沉积序列。层序DS₇的底部为一套厚度达30余米的盆地相钙质泥页岩系地层所组成的凝缩段,层序的早期高水位体系域中发育较多的灰黑色碳质泥灰岩层,而且从早期高水位体系域到晚期高水位体系域这种灰黑色碳质泥灰岩层逐渐变厚,表明随着海平面下降沉积环境在逐渐变浅。层序DS₈的凝缩段也为盆地相钙质泥页岩系地层所构成,其基本特征与DS₇的凝缩段单元相似;在早期高水位体系域中,从下向上灰岩层和泥灰岩增厚变多,中部夹斜坡相角砾灰岩层,表明沉积环境总体向上变浅的特点;在晚期高水位体系域中,下部发育碳质泥灰岩层,中部发育一套较厚的斜坡相角砾灰岩(该角砾灰岩层作为杨家湾组底部的划分标志),更为特别的是在晚期高水位体系域的顶部发育台地相灰质白云岩及白云质灰岩,说明与海平面下降相关的沉积环境变浅存在较大的幅度。

杨家湾组的中上部地层与三都组底部的白云岩地层一起组成三级层序DS₉。在该层序的凝缩段单元



图中DS₆至DS₁₂代表中上寒武统所包括的6个三级层序,CS为凝缩段, [1]代表海侵体系域(TST), [2]为早期高水位体系域(EHST), [3]代表晚期高水位体系域(LHST),剖面位置见下文的图5所示

图1 三都渣拉沟剖面中、上寒武统层序地层划分

Fig 1 Diagram showing the sequence stratigraphic division of the Middle to Upper Cambrian at the Zhajiaogou section in Sandu

之中发育较多较厚的深水陆棚相钙质泥页岩系地层; 早期高水位体系域中也发育深水陆棚相泥页岩, 但是更发育泥晶灰岩和泥灰岩层; 最为引人注目的是, 该层序的晚期高水位体系域为一套厚度十余米的生物丘白云岩所构成, 较为明显的白云石化代表了三级海平面下降所造成的明显的沉积环境变浅, 而且该生物丘白云岩与上覆 DS_{10} 底部的以陆棚相钙质泥页岩夹泥灰岩的地层之间的相带不连续所代表的“跳相”现象则成为良好的层序界面识别标志。

三都组的地层厚度较大, 为一套陆棚相钙质泥页岩与泥灰岩、泥晶灰岩互层为特征, 属于陆棚相至中缓坡相沉积, 常常构成层序的海侵体系域或凝缩段; 在早期高水位体系域中以较多的泥晶灰岩为主, 而层序的晚期高水位体系域中常常发育斜坡相角砾灰岩和浅缓坡相砾屑灰岩, 最为明显的是三级层序 DS_{10} 顶部为一套厚度为 5~6m 的角砾白云岩。根据这些特征可以划分出三级层序 DS_{10} 至 DS_{12} 。

要特别强调的是, 三都组和都柳江组中尽管也发育陆盆相至盆地相泥页岩系, 但是与下寒武统渣拉沟组的盆地相黑色页岩系和硅质岩相比, 沉积环境的水体深度要小得多。再者, 三都组顶部的盆地相泥页岩系与奥陶系下部的地层一起构成三级层序, 表明沉积环境的变化早于寒武纪—奥陶纪之交的生物变化, 从另一种角度表明由“郁南运动”不整合面所代表的海退事件明显要早于寒武系—奥陶系的分界线。在该剖面, 从下向上, 与强迫型海退过程^[7-8]相关的沉积环境变浅越来越明显, 如 DS_6 至 DS_8 的顶部与大套陆棚相泥灰岩和泥页岩地层不协调的泥晶灰岩和白云石化灰岩地层, DS_9 顶部的白云石化泥晶生物丘灰岩以及 DS_{10} 至 DS_{12} 顶部的斜坡相重力流角砾灰岩等等, 它们常常与上覆的深水相岩石组合形成较为明显的相带不连续或“调相”现象而成为层序界面识别的主要标志。

2.2 丹寨南皋剖面的层序划分

在该剖面, 中寒武统凯里组和甲劳祖所构成的三级层序 DS_6 至 DS_8 的相序组构均以从陆棚相泥页岩系变浅至台地相灰岩的沉积序列为特征 (图 2), 只是 DS_6 的晚期高水位体系域是由娄山关群白云岩底部的局限海台地相白云岩地层所组成; 另外, DS_6 和 DS_7 均以“CS(凝缩段)+HST(高水位体系域)”序列为特征, 说明在较深水背景下海平面上升所造成的环境加深效应的强度要大于海平面下降所造成的环境变浅效应, 同时意味着该两个三级层序的底界面均以“淹

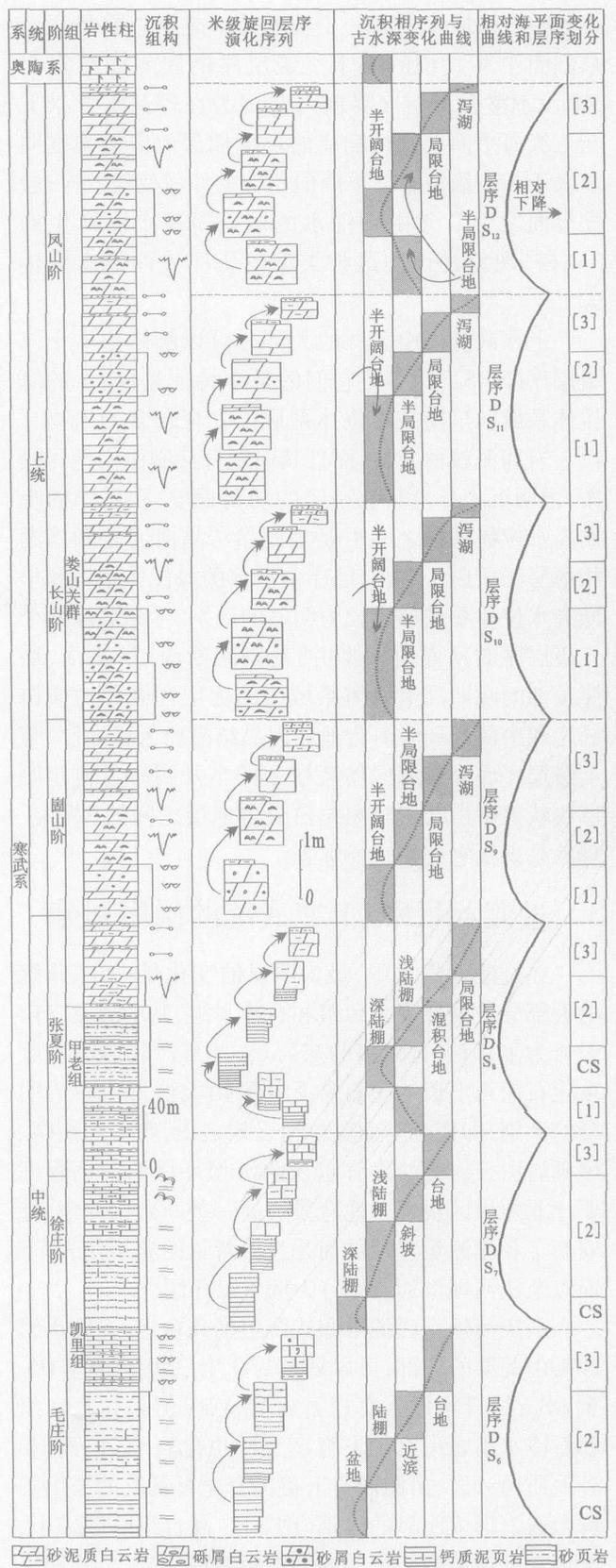


图 2 丹寨南皋剖面中、上寒武统层序地层划分

Fig 2 Diagram showing the sequence - stratigraphic division of the

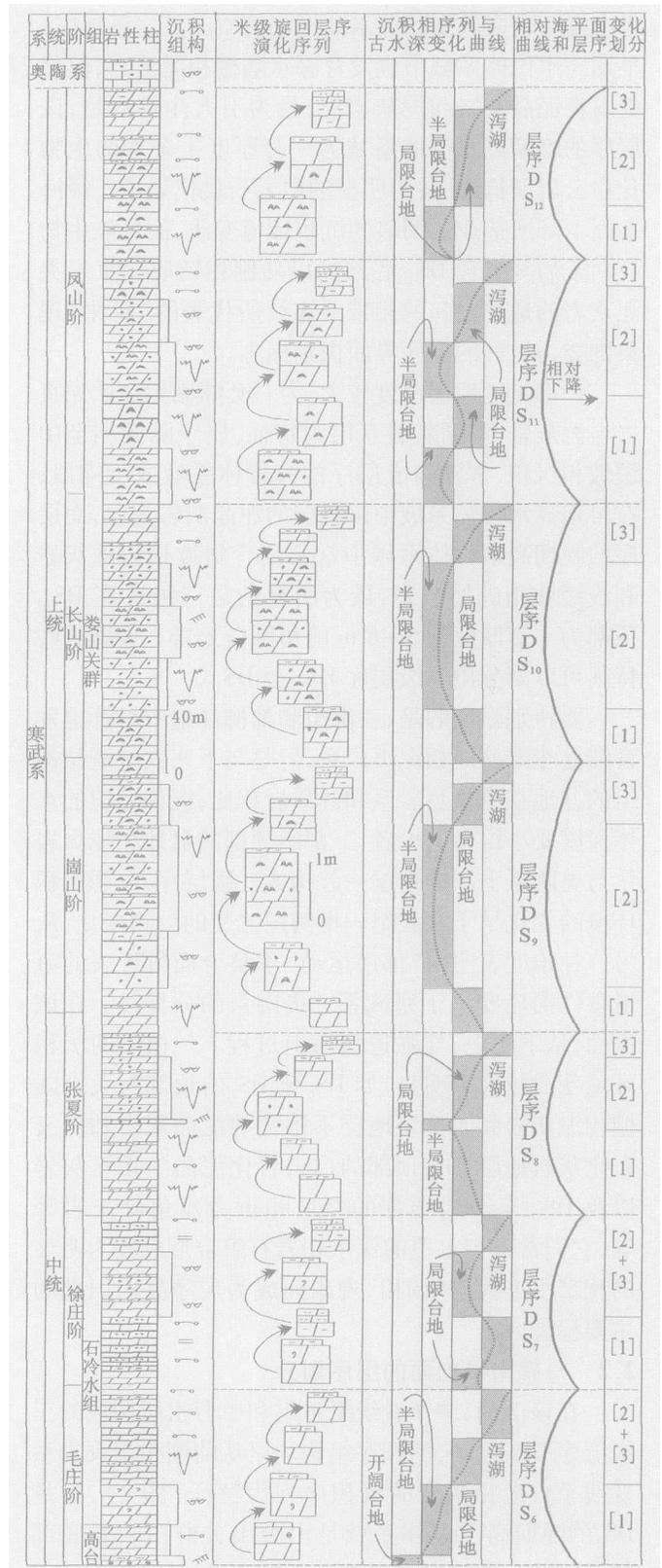
没不整合型层序界面”^[7,8]为特征。之所以将丹寨南皋剖面中寒武统的三个三级层序的底界面厘定为“淹没不整合型层序界面”，是因为在较深水背景下与三级海平面上升相响应的环境加深效应的强度明显大于与三级海平面下降向相应的环境变浅效应；层序界面之上常常由更深水的沉积所覆盖而产生的“跳相”现象是识别这种类型的层序界面的主要标志。

上寒武统娄山关群的大部分可以解体为 4 个三级层序即 DS₉至 DS₁₂，它们的基本特征是：层序的海侵体系域和早期高水位体系域以发育较多的生物丘白云岩和泥粒白云岩，而且其中发育冲刷面构造和藻席，说明沉积环境具有一定的动荡程度；在层序的晚期高水位体系域之中主要是泥晶结晶白云岩和泻湖相薄层泥质白云岩，与层序中下部的海侵体系域和早期高水位体系域形成较为明显的区别。因此，这四个三级层序的顶界面主要由“暴露间断面”所构成，层序顶部的晚期高水位体系域中的薄层泻湖相泥质白云岩和中薄层局限海台地相泥晶结晶白云岩地层、与上覆层序底部的海侵体系域中的半开阔海台地相厚层块状藻席白云岩和泥粒白云岩地层之间的“跳相”现象是识别它们的主要标志。

3 过渡背景中、上寒武统的层序划分

在过渡背景之中，最为明显的变化是：中寒武统的大部分被划分为高台组和石冷水组，其中虽然以白云岩为主，但夹有较多的灰岩层，并且产较多的三叶虫化石而与上覆的化石贫乏的娄山关群形成较为明显的区别；即使在娄山关群白云岩之中，较多的藻席、砂砾屑白云岩等的发育也说明沉积环境的动荡程度要比北西地区浅水台地背景要高一些。余庆河坝、瓮安朵丁和湄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 3)为例予以介绍。

余庆河坝剖面的中寒武统包括高台组、石冷水组和娄山关群的底部，可以划分为 3 个三级层序即 DS₆至 DS₈；尽管均以大套白云岩为特征，但是在高台组和石冷水组之中总是发育产三叶虫化石的白云岩和砂泥质白云岩，由此而与上覆大套化石贫乏的娄山关群白云岩形成明显的区别(图 3)。高台组厚度较小，为一套砂泥质白云岩层局部夹鲕粒白云岩层，构成半开阔海台地相沉积，高台组与石冷水组下部的半局限海台地相砂泥质白云岩和生物碎屑白云岩一起构成层序 DS₆ 的海侵体系域 (TST)；层序的高水位体系域



岩性和其它代号均同图 1和图 2 剖面位置见下文的图 5

图 3 余庆河坝剖面中、上寒武统层序地层划分

Fig 3 Diagram showing the sequence - stratigraphic division of the Middle to Upper Cambrian at the Heba section in Yuqing

(HST)为一套局限海台地相白云岩和泻湖相泥质白云岩。石冷水组上段构成三级层序 DS₉, 为一套局限海台地相白云岩地层与泻湖相泥质泥晶白云岩的交互沉积。娄山关群白云岩底部的地层构成三级层序 DS₈, 以中部的含鲕粒白云岩 (厚度只有 1.66 m) 为标志, 与其下伏的局限海台地相白云岩一起组成层序的海侵体系域, 而上覆的局限海台地相白云岩地层以及泻湖相泥晶泥质白云岩则构成 DS₈ 的高水位体系域。

上寒武统为娄山关群白云岩中上部的地层, 其中可以划分为 4 个三级层序即 DS₉至 DS₁₂。该 4 个三级层序的基本特征可以归纳为: 与三级海平面上升向相应的环境加深过程形成较多的块状泥晶生物丘白云岩、泥粒白云岩和藻席白云岩, 其中普遍发育冲刷面以及充填在冲刷面之上的砂砾屑白云岩透镜体; 与三级海平面下降相响应的环境变浅过程则主要形成局限海台地相泥晶白云岩和泻湖相泥质晶白云岩。

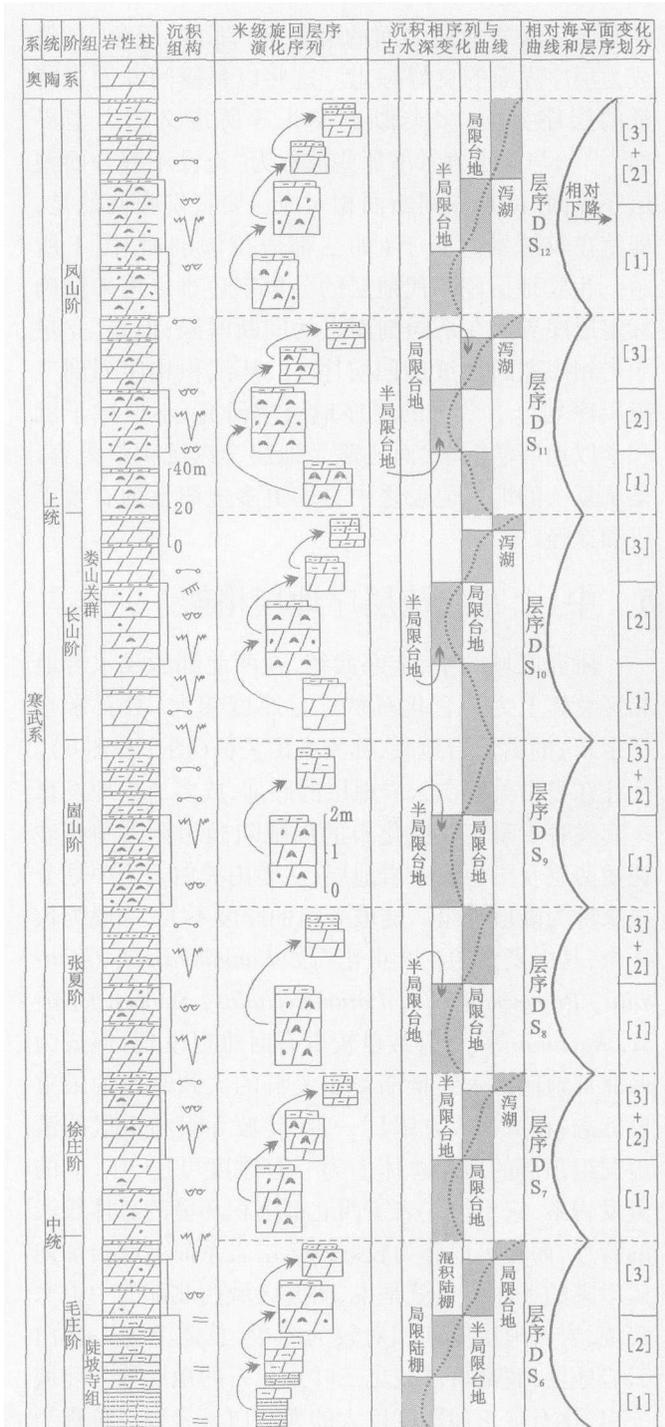
4 浅水台地背景中、上寒武统的层序地层划分

浅水台地背景之中, 中、上寒武统包括两个部分: 下部为厚度较小的陡坡寺组, 以产三叶虫化石的粉砂质泥质白云岩和白云质泥页岩为特征; 上部为厚度数百米至上千米的贫乏化石的娄山关群白云岩。开阳洋水、金沙岩孔、遵义松林、习水吼滩剖面是该背景的典型代表剖面。限于篇幅, 下面以遵义松林剖面为例予以介绍。

该剖面的总体特征与金沙岩孔相近, 中上寒武统总体上为一套厚度巨大的白云岩地层, 底部的砂泥质白云岩地层中或多或少地可以见到三叶虫化石称为陡坡寺组, 中上部大套化石贫乏的白云岩地层则为娄山关群 (图 4)。厚度近 60 m 的陡坡寺组局限陆棚相和混积陆棚相砂泥质白云岩地层与娄山关群底部的局限海台地相白云岩地层一起构成三级层序 DS₆。

横跨中上寒武统的娄山关群的大部分地层, 可以划分为 6 个三级层序即 DS₇至 DS₁₂, 这些三级层序的总体特征可以概括为: 层序的海侵体系域特别是早期高水位体系域中, 发育块状含藻席的生物丘白云岩, 以及发育冲刷面及充填在冲刷面之上的砂砾屑白云岩透镜体, 属于潮间带下部较为动荡的沉积环境的产物; 而在晚期高水位体系域中则以局限海台地相泥晶白云岩和泻湖相泥质泥晶白云岩为特征, 形成潮间坪上部至潮上坪环境的沉积。

与其它剖面一样, 化石贫乏的娄山关群白云岩中



岩性和其它代号均同图 1和图 2 剖面位置见图 5

图 4 遵义松林剖面中、上寒武统层序地层划分

Fig 4 Diagram showing the sequence stratigraphic division of the Middle to Upper Cambrian at the Songlin section in Zunyi

的三级层序, 基本上不发育凝缩段。即使在岩性相对单调的娄山关群白云岩之中, 层序顶部的局限潮坪相或局限泻湖相泥质白云岩、白云质泥页岩地层与上覆层序底部的厚层块状半开阔海台地相含颗粒白云岩

和藻席白云岩地层之间的明显的“跳相”现象,自然成为层序界面的良好标志。这些以暴露间断面为特征的层序界面,多类似于Vail等所定义的类型界面^[13, 14],与深水背景下那些被称为“淹没不整合面型层序界面”的加深间断面对应。要特别强调的是,即使在较深水背景下(如三都渣拉沟剖面,图1所示),生物地层和年代地层的分辨率还难以用来精确标定层序界面在不同剖面点的间断时限;但是,立足于岩相序列到米级旋回层序^[24]、从沉积相序列到三级层序划分^[7~10, 23]的层序地层学研究,不但赋予沉积学以地层学框架,而且赋予地层学以沉积学内容,是从复杂的地层记录之中寻求更多规律性的有效手段和途径。

5 中、上寒武统层序地层格架

研究区域的中、上寒武统,在西北部的浅水台地相区总体上为一套化石贫乏且厚度较大(数百米至千余米)的白云岩地层,称为娄山关群(图5和图6)。往往在娄山关群白云岩地层的底部,或多或少地发育一套发育少量三叶虫化石的局限陆棚相至泻湖相砂泥质薄层及中层白云岩地层,从娄山关白云岩中划分出来称为陡坡寺组。陡坡寺组的厚度不大,一般为数十米,其中发育的三叶虫化石如 *Kummingsia* *Chittidilla*, *Probowmanella*, *Paramecephalus* *Sinopychoparia*, *Kaotia* 等,尽管数量较少有时难以发现,但成为西北部地区能大致推断娄山关群的大致时代的最重要标志;在贵州大方锅厂一带,陡坡寺组与下伏的清虚洞组顶部的地层总体上为一套厚度可达300 m的蒸发岩系,它不但代表了西北部沉积环境的总体较浅的特点,而且可以作为较好的盖层岩系而引起石油地质学家的关注。也就是说,研究区域西北部的中上寒武统,岩石地层序列相对较为简单,总体上为一套白云岩地层,底部可以找见三叶虫化石的地层称为陡坡寺组,化石贫乏而厚度巨大的大套白云岩地层统称为娄山关群。稍微向南东,类似于陡坡寺组的砂泥质白云岩为主的地层的层位有所偏高,甚至可以达到中寒武统之顶部,该套地层被命名为石冷水组和高台组,覆盖在其上的是上寒武统化石贫乏的娄山关群白云岩。在古斜坡背景中,研究区域东部的玉屏至铜仁一带,厚度较小大致只相当于上寒武统凤山阶“娄山关群白云岩”之下,发育一套以颗粒灰岩、泥粒灰岩夹角砾灰岩和少量白云岩的地层,结合化石内容前人将其划分为敖溪组、车夫组和比条组;而在贵州丹寨至

台江一带,与斜坡相角砾灰岩共生的泥晶灰岩、泥页岩等所组成的中寒武统,分别称之为凯里组和甲劳组。在沉积背景更深的贵州三都一带,中、上寒武统为大套陆棚至盆地相泥页岩系,其中夹有泥晶灰岩和角砾灰岩地层,岩性相对较为单一而总体上把中寒武统归为都柳江组、上寒武统划分为杨家湾组和三都组。因此,研究区域的中、上寒武统,西北部的大套白云岩地层只能进行简单的岩石地层划分,底部为陡坡寺组、中上部称娄山关群;东南部以泥页岩夹灰岩为特征的地层,也只能划分相对较为简单的岩石地层序列,中统为都柳江组,上统称杨家湾组和三都组;过渡地带的古斜坡背景中,岩石地层序列相对要复杂一些。图5所示的岩石—层序地层格架大致反映了上述变化特点,这些变化有更加清晰地反映在图6所示的年代—层序地层格架之中。

中、上寒武统中的三级层序,凝缩段的不发育是其基本特点,层序界面总体上均是暴露间断面,特别是DS₂的顶界面尤为如此,更向西北研究区域以外地区上寒武统的明显缺失充分地表明了这一点;即使是在深水背景下的三都一带,中、上寒武统中基本上不发育深水盆地相黑色页岩和深水远洋盆地相硅质岩,也说明了沉积环境总体变浅的情况,而与下寒武统的层序特征^[26]形成较为明显的区别。浅水台地区域的大套白云岩与较深水背景下的泥页岩系夹灰岩地层形成强烈的反差,而且从白云岩相变为灰岩的变化与震旦纪的从白云岩到白云岩的变化形成了一些差异,表明了温室效应时期低纬度炎热气候环境下沉积的特点^[27, 28],同时又与震旦纪极端温室效应时期从浅到深从白云岩到白云岩的变化存在明显的不同。上扬子区中、上寒武统的三级层序与华北地台^[9, 29~31]大致可以对比,但与北美地台存在较大差异^[32, 33]。这些差异与变化特征的不同意味着许多还有待于进一步研究的问题,如白云石化作用强度与古气候的关系对长期以来被称作“白云石问题”的未解之谜的理解和研究^[34]、如何在时间与海平面变化的框架内^[35]更好地研究“相迁移”而从沉积学角度在复杂的地层记录中寻找出更多的规律性等等。

6 结语

上扬子区,特别是贵州及其邻区,中、上寒武统构成一个特别的层序地层格架:浅水台地背景中的大套白云岩与深水背景下的泥页岩系地层夹灰岩形成强烈的反差,贫乏化石的娄山关群白云岩从北西向南东

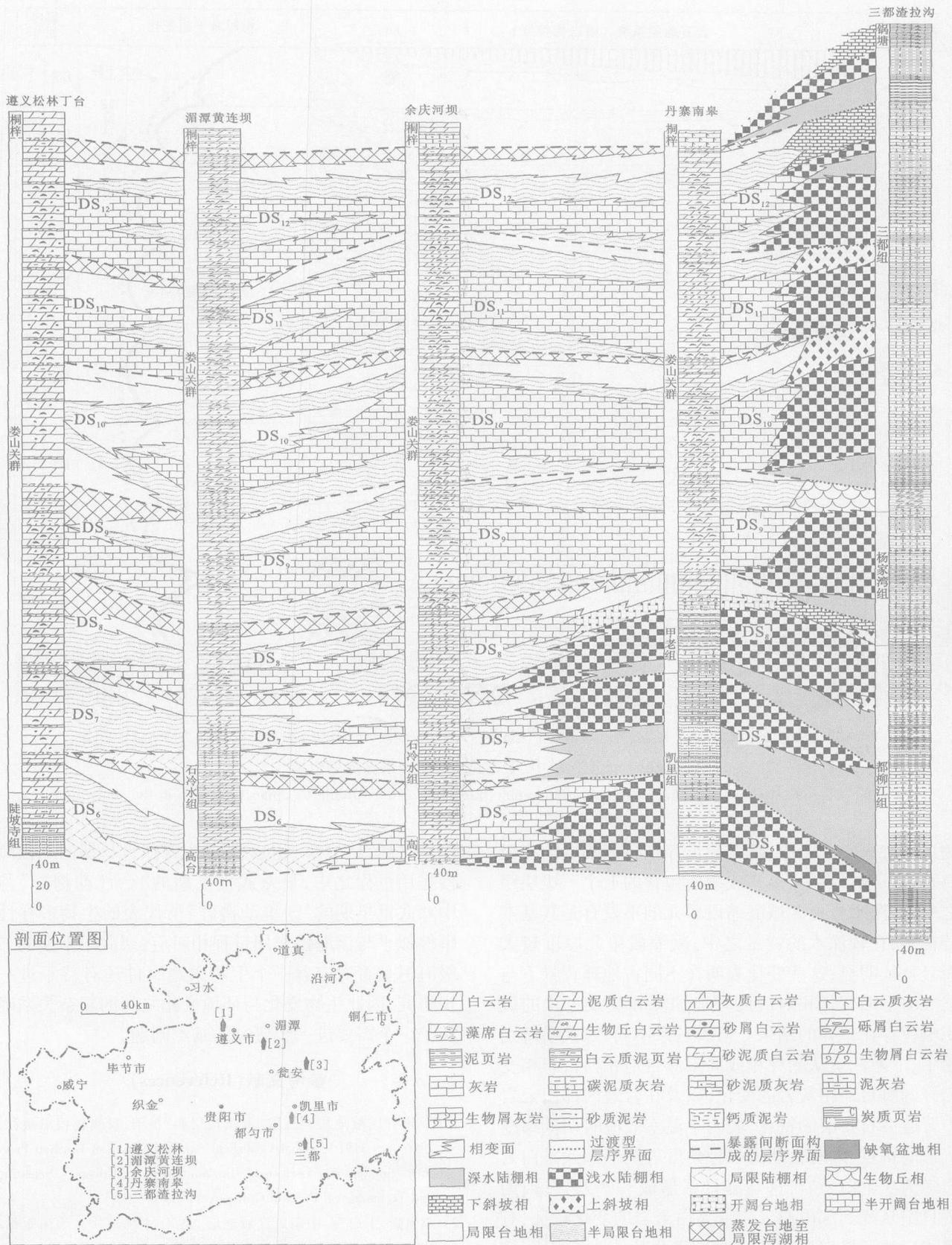
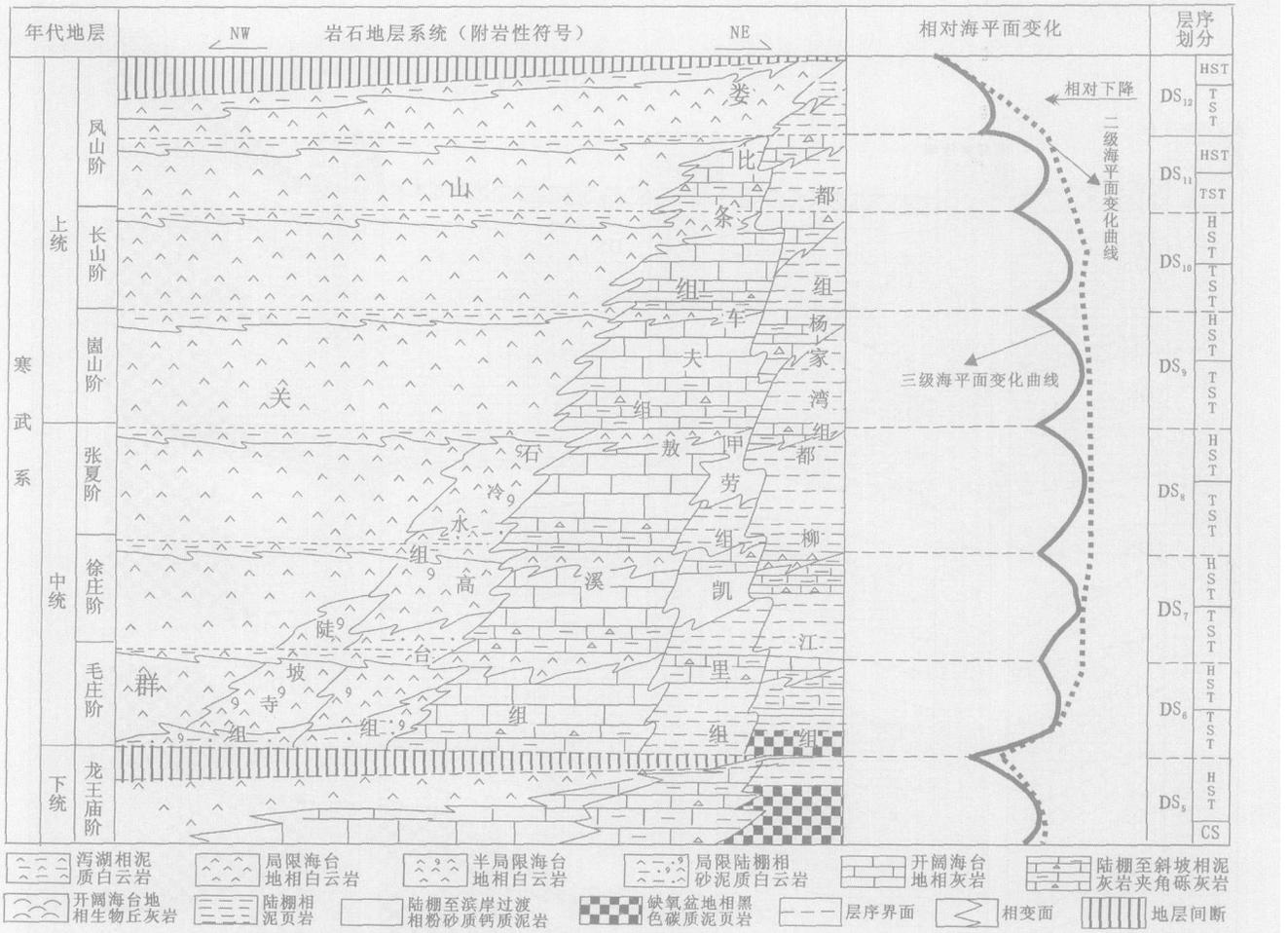


图 5 研究区域中、上寒武统岩石一层序地层格架

Fig 5 Diagram showing the sequence chronostratigraphic framework of the Middle to Upper Cambrian in the study area (C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net



在图中 DS₆至 DS₁₂代表中、上寒武统所包含的七个三级层序, DS为凝缩段, TST代表海侵体系, HST为高水位体系

图 6 研究区域中、上寒武统年代—层序地层格架

Fig 6 Diagram showing the sequence chronostratigraphic framework of the Middle to Upper Cambrian in the study area

的进积尖灭表明了中、晚寒武世存在较大幅度的二级海平面下降。在中、上寒武统所包含的七个三级层序之中,在浅水台地凝缩段单元的不发育是其基本特征;而在较深水的背景之中,凝缩段单元厚度较大而且特征明显;这些变化表明在不同古地理背景下与三级海平面变化相对应的环境加深和变浅过程的沉积响应存在差异的结果。与震旦系不同,寒武系特别是中、上寒武统从潮坪相或局限海台地相白云岩相变为开阔海台地相灰岩的变化,以及在台地内部白云岩中普遍夹石膏层的特点,表明了温室效应时期低纬度沉积的特点,同时也从另一种角度表明了寒武系白云岩多为次生白云岩,这与震旦系形成一些差异;因为震旦纪从浅到深由白云岩变为白云岩的变化特征,有可能反映了极端温室效应时期发生原生白云石沉淀作用的特点。再者,早、中寒武纪之交的海侵—海退

事件之后,从早寒武世末期到中寒武世早期的二级海侵作用过程之中,早寒武世末期的“台江动物群”与中寒武世早期的“凯里动物群”所代表的生物多样性事件似乎与该海侵作用过程相对应,寒武纪末期的二级海退是否对应着一个生物灭绝事件还有待于进一步研究;因此生物变化与环境变化之间的复杂关系确实是一个需要进一步研究的基本问题。

参考文献 (References)

- 1 贵州省区域地质调查院. 贵州地层典. 贵阳: 贵州科技出版社, 1996 1~319 [Regional Geological Survey Institute of Guizhou Province. Stratigraphic Lexicon of Guizhou Province. Guiyang: Scientific and Technological Press of Guizhou, 1996 1~319]
- 2 赵自强, 丁启秀. 中南区区域地层. 武汉: 中国地质大学出版社, 1996 29~70 [Zhao Ziqiang, Ding Qixiu. Regional Stratigraphy in Central and South Part of China. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1996. 29~70]

- 3 董卫平主编. 贵州省岩石地层. 武汉: 中国地质大学出版社, 1997. 48~142 [Dong Weiping. Lithostratigraphy in Guizhou Province. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1997. 48~142]
- 4 张远志主编. 云南省岩石地层. 武汉: 中国地质大学出版社, 1997. 24~101 [Zhang Yuanzhi. Lithostratigraphy in Yunnan Province. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1997. 24~101]
- 5 项礼文, 朱兆玲, 李善姬, 等. 中国地层典 (寒武系). 北京: 地质出版社, 1999. 1~95 [Xiang Liwen, Zhu Zhaoling, Li Shanji et al. Chinese Stratigraphic Lexicon. Beijing: Geological Publishing House, 1999. 1~95]
- 6 Einsele G. Event deposits: the role of sediment supply and relative sea level changes: overview. *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. 北京: 地质出版社, 2005. 1~287 [Mei Mingxiang, Gao Jinhua. Facies analysis Method and Principle of Lithostratigraphy. Beijing: Geological Publishing House, 2005. 1~287]
- 8 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. 地质科技情报, 1999, 19(2): 17~21 [Mei Mingxiang, Yang Xinde. Forced regression and forced regressive wedge system tract: Revision on traditional Exxon model of sequence stratigraphy. *Geological Science and Technology Information*, 1999, 19(2): 17~21]
- 9 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. 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. *Geosciences*, 1997, 11(3): 274~282]
- 10 梅冥相, 梅仕龙. 华北中寒武世张夏组复合海平面变化旋回层序. 沉积学报, 1997, 15(4): 5~9 [Mei Mingxiang, Mei Shilong. Composite cyclic sequences of sea level changes for the Middle Cambrian Zhangxia Formation of the North China Platform. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1997, 15(4): 5~9]
- 11 Mei Mingxiang, Ma Yongsheng, Guo Qingying. Basic lithofacies succession model for Wumishan cyclothem. Their Markov chain analysis and sand regularly vertical stacking pattern in the third order sequences. *Acta Geologica Sinica*, 2004, 75(4): 421~431
- 12 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, Northwest China. *Acta Geologica Sinica*, 2004, 78(3): 744~755
- 13 Mithum R M, Van Wagoner J C. High frequency sequences and their stacking pattern: sequence stratigraphic evidence of high frequency eustatic cycles. *Sedimentary Geology*, 1991, 70: 131~160
- 14 Vail P R, Mithum R M, Thompson III S. Seismic stratigraphy and global changes of sea level. Part 3: Relative changes of sea level from coastal onlap. In: Payton C E, ed. *Seismic Stratigraphy: applications to hydrocarbon exploration*. AAR Memoir, 1977, 26: 63~97
- 15 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. 现代地质, 1999, 13(2): 234~235 [Gao Linzhi. Neoproterozoic and early paleozoic biological explosion, and earth's evolutionary rhythms. *Geosciences*, 1999, 13(2): 234~235]
- 16 赵元龙主编. 贵州—古生物王国. 贵阳: 贵州科技出版社, 2002. 94~159 [Zhao Yuanlong. Guizhou—Paleontological Kingdom. Guiyang: Scientific and Technological Press of Guizhou, 2002. 94~159]
- 17 Hallam A, Wignall P G. Mass extinction and sea level changes. *Earth Sciences Review*, 1999, 48: 217~250
- 18 Racki G, Wozolek T. Cause of mass extinction. *Lethaia*, 2001, 34: 200~202
- 19 殷鸿福, 童金南. 层序地层与年代地层的成因关系. 科学通报, 1995, 40(6): 539~541 [Yin Hongfu, Tong Jinnan. The genetic relationship between sequence stratigraphy and chronostratigraphy. *Chinese Science Bulletin*, 1995, 40(6): 539~541]
- 20 刘宝珺, 许效松. 中国南方岩相古地理图集 (震旦纪—三叠纪). 北京: 科学出版社, 1994. 1~239 [Liu Baojun, Xu Xiaosong. Atlas of Sedimentary facies and Paleogeography in South China. Beijing: Science Press, 1994. 1~239]
- 21 冯增昭, 彭勇民, 金振奎, 等. 中国南方寒武纪和奥陶纪岩相古地理. 北京: 地质出版社, 2001. 1~221 [Feng Zengzhao, Peng Yongmin, Jin Zhenkui et al. Lithofacies and Paleogeography of the Cambrian in South China. Beijing: Geological Publishing House, 2001. 1~221]
- 22 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. 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. Beijing: Geological Publishing House, 1994. 1~191]
- 23 Miall A D. *The Geology of Stratigraphic Sequences*. Berlin: Springer Verlag, 1997. 1~433
- 24 梅冥相, 徐德斌, 周洪瑞. 米级旋回层序的成因类型及相序组构特征. 沉积学报, 2000, 18(4): 43~49 [Mei Mingxiang, Xu Debin, Zhou Hongrui. Genetical types and their facies-succession features of meter-scale cyclic sequences. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2000, 18(4): 43~49]
- 25 徐强, 姜焯, 董伟良, 等. 中国层序地层研究现状和发展方向. 沉积学报, 2003, 21(1): 154~167 [Xu Qiang, Jiang Yan, Dong Weiliang et al. Current research status and developing direction of sequence stratigraphy in China. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2003, 21(1): 154~167]
- 26 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. 现代地质, 2005, 19(4): 99~111 [Mei Mingxiang, Ma Yongsheng, Deng Jun et al. The preliminary study of sequence-stratigraphic frameworks for the Lower Palaeozoic of the Upper Yangtze Region. *Geosciences*, 2005, 19(4): 99~111]
- 27 许效松, 徐强, 潘桂棠, 等. 中国南大陆演化与全球古地理对比. 北京: 地质出版社, 1996. 1~161 [Xu Xiaosong, Xu Qiang, Pan Guitang et al. Paleogeography of the South China Continent and Its Contrast with Pangea. Beijing: Geological Publishing House, 1996. 1~161]
- 28 陈旭, 阮亦萍, 布科 A J. 中国古生代气候演变. 北京: 科学出版社, 2001. 14~20 [Chen Xu, Ruan Yiping, Boucot A J. Climate Evolution of the Palaeozoic in China. Beijing: Science Press, 2001. 14~20]

- 20]
- 29 Mei M ingxiang Ma Yongsheng Deng Jun and Chen Huijun From cycles to sequences sequence stratigraphy and relative sea level changes for the late Cambrian of the North China Platform. *Acta Geologica Sinica* 2005 79(3): 372~383
- 30 Meng X ianghua and Ge M ing Cyclic sequences events and evolution of the Sino-Korea Plate with a discussion on the evolution of molarr both carbonates phosphonites and source rocks *Acta Geologica Sinica* 2003 77(3): 626~631
- 31 史晓颖, 陈建强, 梅仕龙. 华北地台东部寒武系层序地层格架. *地质前缘*, 1997 (3~4): 161~173 [Shi X iao yin Chen Jianqiang Mei Shi Long Sequence stratigraphical framework for the Cambrian in the eastern part of the North China Platfom. *Earth Sciences Frontiers* 1997 4(3 4): 161~173]
- 32 Osleger D A and Read J F. Cyclostratigraphy of late Cambrian carbonate sequences *SEPM*, 1991, 67: 801~828
- 33 Osleger D A and Read J F. Relation of eustasy and stacking patterns of meter scale carbonate cycles late Cambrian U. S. A. *Journal of Sedimentary Petrology* 1991 61(7): 1225~1252
- 34 孙枢. 中国沉积学的今后发展, 若干思考与建议. *地质前缘*, 2005 12(2): 3~10 [Sun Shu Sedimentology in China perspectives and suggestions *Earth Sciences Frontiers* 2005 12(2): 3~10]
- 35 王鸿祯, 史晓颖. 沉积层序及海平面旋回的分类级别——旋回周期的成因讨论. *现代地质*, 1998 12(1): 1~16 [Wang Hongzhen and Shi X iao yin. Hierarchy of depositional sequences and eustatic cycles Discussion on the mechanism of sedimentary cycles *Geosciences* 1998 12(1): 1~16]

From Sequence Stratigraphic Division to the Establishment of Sequence Stratigraphic Framework the Middle to Upper Cambrian in the Upper Yangtze Region

MEI M ing-xiang^{1 2} LIU Zhi-rong^{1 2} MENG X iao-qing^{1 2} CHEN Yong-hong^{1 2}

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

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

Abstract In the Upper Yangtze region especially in the Guizhou Province and its adjacent areas the Middle to Upper Cambrian is well developed and is marked by a succession from limestone to dolomite. The progressive diachronism represented by the great thick "Loushanguan Group dolomite" indicates a progression of carbonate platform resulted from the second-order regression. Thus a complex and regular sequence stratigraphic framework of the Middle to Upper Cambrian was formed in the Upper Yangtze region. In the shallow-water background the Middle to Upper Cambrian is made up of both the thin Douposi Formation with fossils and the great thick Loushanguan Group lacking fossils in which there are some difficulties to discern third-order sequences. But the regularity of sedimentary facies of the Middle to Upper Cambrian in the deeper background make it easy to discern the third-order sequence and this regularity can be used to make up the shortage for the division of third-order sequences in the shallow-water background. The Middle to Upper Cambrian in the study area constitute a second-order sequence that can be further divided into seven third-order sequences which forms a regularly transgressive regressive cyclic succession. Along with these temporal changes the palaeogeographic background of the Middle to Late Cambrian in the study area become deep toward southeast and the Middle to Upper Cambrian marked by a great thick dolomite in the shallow setting is changed into a set of muddy shale with limestone in the deep setting. According to the elementary features of the third-order sequence i.e. the regularity of sedimentary facies succession in space and the synchronism of sedimentary environment changes the detailed division of the third-order sequence at the main logged section in different palaeogeographical background become the basis to establish the sequence stratigraphic framework that can demonstrate two types of facies-changing surface and two types of diachronism in the stratigraphic record. There is an important meaning for this sequence stratigraphic framework i.e. the sequence stratigraphic study on the basis of "the regularity represented by the temporal succession of sediments and the spatial pattern of sedimentary facies" is a useful tool to get more regularities from the complex stratigraphic records.

Key words sequence stratigraphic division the Middle to Upper Cambrian the Upper Yangtze region