

南京附近宁镇山脉下石炭统层序地层特征

陈中强 张海春 李建国

(中科院南京地质古生物研究所)

[内容提要] 本文从南京附近宁镇山脉的下石炭统中识别出7种沉积相,并在高骊山组中识别出5个底栖生态群落。据沉积相和群落生态分析,本文对该区早石炭世层序地层进行了分析,识别出5个沉积层序,并恢复了南京地区早石炭世海平面变化特征。这一时期该地区的海平面变化特征与全球海平面变化曲线并不完全一致,其原因在于该区当时特殊的古地理位置。

关键词: 层序地层学 下石炭统 宁镇山脉

早石炭世地层在南京附近的宁镇山脉出露较连续、完整。本世纪以来,先后有许多地质学家(李四光、朱森,1930,1933;李毓尧等,1935;李星学,1963;蔡重阳等,1988;张遵信等,1988^[1])曾在该地区做过较为系统的地质工作,以致其露头剖面实际上成为了解下扬子地台地质发展史的主要参考剖面之一。本文选择宁镇山脉的5条剖面(图1)作为下石炭统层序地层学研究,旨在揭示下扬子地区早石炭世层序地层及海平面变化特征。

1 区域地质背景和地层概述

早石炭世,宁镇山脉位于扬子地台东北侧边缘,据其大地构造位置、生物群特征及沉积类型应划为华南区,但它与华南区的湘黔、滇桂及浙赣分区的古生物组合、沉积特征及发展史又有明显的区别,故独立为下扬子分区(王增吉等,1990)^[2]。早石炭世,华南区大致沿昆明、贵阳、长沙一线以南谓华南海,为一典型的陆棚海,而下扬子分区为一条伸展于江南古陆、中朝

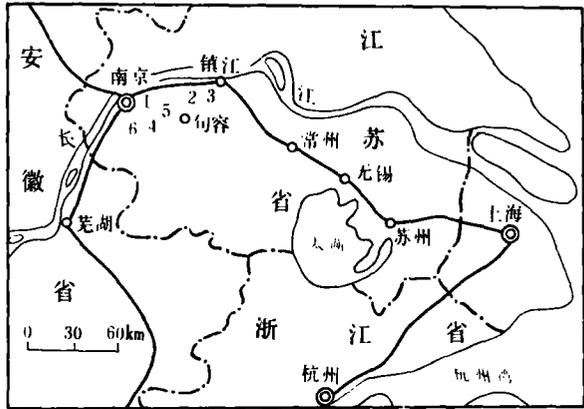


图1 宁镇山脉下石炭统主要露头剖面位置

- 1. 南京龙潭剖面, 2. 句容高骊山剖面, 3. 镇江船山剖面,
- 4. 南京孔山剖面, 5. 南京陈家边剖面, 6. 江宁云峰山剖面

Fig. 1 Sketch to show the location of the Lower Carboniferous outcrop sections along the Ningzhen

Mountain near Nanjing, Jiangsu

- 1=Longtan section in Nanjing; 2=Gaolishan section in Jurong; 3=Chuanshan section in Zhenjiang; 4=Kongshan section in Nanjing; 5=Chenjiabian section in Nanjing; 6=Yunfengshan section section in Jiangning

古陆及上扬子古陆之间呈东西向延伸的狭长海域,与华南海盆有江南古陆阻隔,其间海水并不直接相通。

宁镇山脉的早石炭世沉积自下而上主要为五通组、金陵组、高骊山组、和州组及老虎洞组。它们的岩石和生物地层特征概述如下。

五通组 该组与下伏志留系为角度不整合接触,与上覆金陵组为整合接触,可分为下部观山段和上部擂鼓台段。观山段以砂岩、含砾砂岩及砾岩沉积为主,夹薄层或透镜状粘土岩,未发现植物化石和孢粉化石。擂鼓台段由石英砂岩夹粉砂岩、泥岩组成,在其下部发现有晚泥盆世法门晚期的重要化石:植物 *Eviostachya hoegii* Stock., *Leptophloeum rhombicum*, *Stigmara* sp. 等分子,孢子 *Archaeopteris mutatoformis*, *Retispora lepidophyta* var. *minor* 等分子;在其上部发现有早石炭世杜内早期的孢子 *Dibolisporites distinctus-Auroraspora macra* 组合带(即 DM 组合)(欧阳舒、陈永祥,1987)^[3];其顶部产有腕足类(金玉珩,1963)和疑源类(李星学等,1984)^[4]。因此,该组为跨纪沉积,泥盆系与石炭系界线从擂鼓台段的中部通过(蔡重阳等,1988)。

通过李星学等(1984)对该组中的疑源类及可能生活于咸水滨海环境的叶肢介、吴贤涛(1986)对痕迹化石、张国栋等(1987)^[5]及张国芳等(1988)对岩相的综合研究,表明该组并非纯陆相沉积,主要为海陆交替相沉积。

金陵组 由浅灰黑色结晶灰岩,顶部为浅褐色白云质灰岩或白云质泥灰岩组成,产丰富的生物化石,包括牙形类 *Polygnathus inornatus*, *Neoprioniodes barbatus*, *Siphonodella cooperi*, *Ozarkodina* sp. 等,腕足类 *Eochoristites-Martiniella* 组合及珊瑚 *Pseudouralinia* 带。该组为杜内晚期的沉积。

高骊山组 主要以一套泥岩、粉砂岩及细砂岩沉积为主,底部为含铁质红色粉砂质泥岩,与下伏金陵组为假整合接触;其上部夹数层生物灰岩;顶部由杂色泥岩和粉砂岩组成,与上覆和州组为整合接触。该组产丰富的海相动物化石,可建立五个生态群落(见下文讨论),为维宪早、中期沉积。

和州组 主要以灰色或灰黄色不纯的泥灰岩沉积为主,产丰富的 *Eostaffella* 动物群分子、珊瑚 *Kueichouphyllum sinensis*, *Lithostrotion infrequense*, *L.* sp. 等及腕足类 *Gigantoproductus giganteus* 等。该组为维宪晚期沉积。

老虎洞组 以浅灰色厚层状白云岩沉积为主。在该组下部发现有早石炭世珊瑚: *Lithostrotion portlocki*, *L. muccoyanum*, *Yuanophyllum kansuensis* 等及牙形类: *Gnathodus bilineatus* 带分子,其时代为维宪晚期至谢尔普霍夫晚期;在其上部发现有牙形类: *Idiognathoides sinuatus-Idiognathodus delicatus* 组合带,为晚石炭世早期的分子。故该组为跨上、下石炭统的沉积。此外,该组的白云岩经张瑛等(1984)^[6]研究,表明其下部主要为次生白云岩,由微—细晶粒状白云岩组成,发育次生交代切割作用;其上部为准同生白云岩,发育藻纹层、藻条纹构造及由潮上带碳酸盐灰泥经过短暂暴露之后形成干裂片所组成的角砾状构造。

2 主要沉积相类型及高骊山组群落生态特征概述

2.1 沉积相类型

该区下石炭统共发育 7 种沉积相。

2.1.1 河口三角洲相 由细砂岩、粉砂岩及杂色泥岩组成,细砂岩发育大型斜层理及交错

层理,岩石颗粒分选较好,产丰富的植物茎干化石;杂色泥岩中含大量的植物碎片,主要分布于五通组擂鼓台段及高骊山组中部。

2.1.2 沙质滨岸相 由红色含铁质粉砂岩、灰质粉砂岩、粉砂质泥岩或红色泥岩组成,铁质粉砂岩中含铁质结核,灰色粉砂岩中发育大量的 *Skolithos* 等垂直钻孔遗迹化石,红色泥岩中含植物碎片,指示海水偶尔能到达的沙质滨岸潮上带环境。该相沉积主要分布于高骊山组底部。

2.1.3 泥沙质潮坪相 由灰黑色泥岩夹粉砂岩组成,发育波状层理,产丰富的无铰纳腕足类 *Lingula* 化石。它们属种单调、丰度高,构成内栖群落,指示潮间带泥沙质潮坪环境。该相沉积主要分布于高骊山组下部。

2.1.4 碳酸盐潮坪相 主要由细—微晶白云质灰岩及白云岩组成,发育丰富的藻纹层、藻条纹及由干裂片组成的角砾状构造。该相沉积主要分布于老虎洞组上部。

2.1.5 半局限海湾相 主要由灰黑色泥岩夹粉砂岩组成,发育水平层理,保存分异度较低,以内栖泥食型双壳动物为主的生态群落,指示一种低能平静的海湾环境。该相沉积主要分布于高骊山组之中。

2.1.6 陆棚浅海相 主要由浅灰色灰岩夹泥岩组成,灰岩为泥晶胶结,有时可见少量的砂级陆源碎屑颗粒,发育小型交错层理,产丰富的腕足类、珊瑚及其它门类生物化石。它们组成高分异度,以悬食性生物为主的生态群落,指示波基面附近的较高能浅海环境。该相沉积主要分布于高骊山组上部及五通组顶部。

2.1.7 碳酸盐台地相 主要由灰色中厚层状灰岩组成,灰岩以灰泥胶结为主,发育丰富的生物介壳,有时可见局部的颗粒支撑、亮晶胶结的现象。该相沉积主要分布于金陵组及和州组之中。

2.2 高骊山组群落生态特征

在高骊山组中自下而上保存了 5 个生态群落(陈中强等):*Lingula* 群落(L 群落),*Phos-tia-Wilkingia* 群落(PW 群落),*Schellwienella-Posidoniella* 群落(SP 群落),*Volsetina-Leioclema* 群落(VL 群落)及 *Pugilis-Kueizhouphyllum* 群落(PK 群落)。L 群落是一个以无铰纳腕足类 *Lingula* 占绝对优势且属种单调、分异度低的内栖型群落,指示典型的潮间带环境。PW 群落是一个内栖泥食型双壳动物占绝对优势的群落,其分异度较低,指示潮下带至浪基面之间的低能环境。SP 群落则以双壳类为主,由多门类生物组成,其分异度较高,悬食型动物明显增多,指示较为开阔的海湾环境,但当时的水动力并不强。VL 群落是一个以双壳动物为主,次为苔藓虫,属种单调、低分异度的不成熟群落,指示半局限的海湾环境。PK 群落是一个以腕足动物为主,次为珊瑚,属种丰富、分异度高的生态群落,指示浪基面附近的高能浅海环境。

3 层序地层特征

我们通过前文所述的沉积相和群落生态分析从本区下石炭统中识别出 5 个沉积层序(相当 Vail 等,1977 提出的三级层序)。五通组擂鼓台段和金陵组组层序 I,和州组和老虎洞组构成层序 V,层序 I, II, III, IV 保存于高骊山组之中。自下而上,各沉积层序的主要特征详述如下:

3.1 层序 I (图 2)

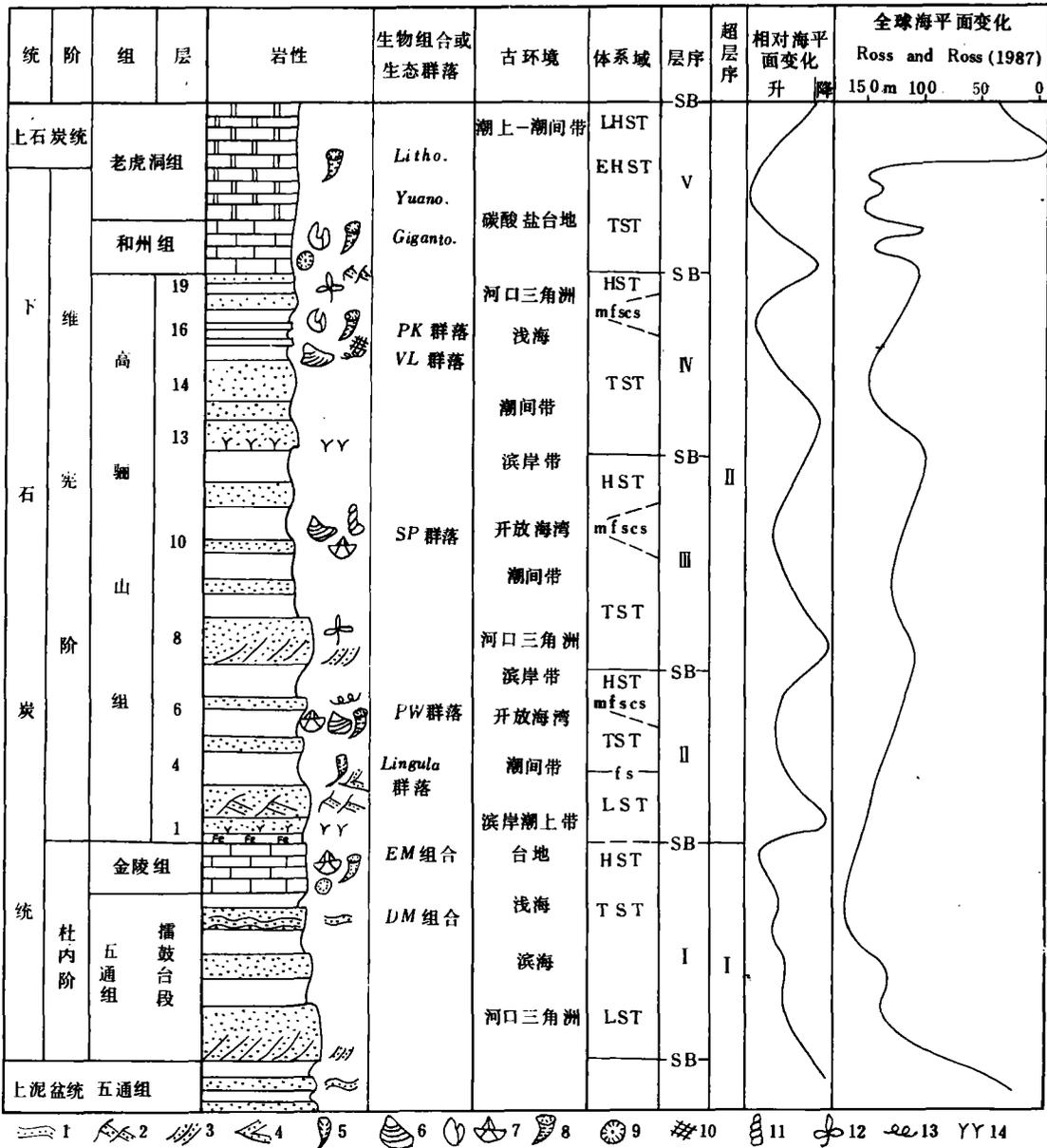


图2 南京附近宁镇山脉早石炭世层序地层格架及古海平面变化曲线图

1. 波痕层理; 2. 板状交错层理; 3. 斜层理; 4. 人字形交错层理; 5. 舌形贝; 6. 双壳类; 7. 有铰纲腕足类; 8. 珊瑚; 9. 海百合茎; 10. 苔藓虫; 11. 腹足类; 12. 植物; 13. 虫迹; 14. 垂直钻孔

Giganto. = *Gigantoproductus*; Yuano. = *Yuanophyllum*; litho. = *Lithostrotion*; PK 群落 = *Pugilis-Kueizhouphyllum* 群落; VL 群落 = *Volselina-Leioclema* 群落; SP 群落 = *Schellwienella-Posidoniella* 群落; PW 群落 = *Phestia-Wilkingia* 群落; EM 组合 = *Eochoristites-Martiniella* 组合; DM 组合 = *Dibolisporites distinctus-Auroraspora macra* 组合

Fig. 2 Early Carboniferous sequence stratigraphic framework and sea-level curve for the Ningzhen mountain area near Nanjing, Jiangsu

- 1=ripple bedding; 2=tabular cross-bedding; 3=oblique bedding; 4=herringbone cross-bedding; 5=*Lingula*; 6=bivalves; 7=Articulata; 8=corals; 9=crinoids; 10=bryozoans; 11=gastropods; 12=plants; 13=worm trails; 14=vertical burrows

层序 I 主要包括五通组擂鼓台段中、上部及金陵组,发育低水位体系域、海进体系域及高水位体系域。

层序界面:该层序的底界面位于擂鼓台段中部白色厚层石英砂岩之底,顶界面位于金陵组顶部(见下文讨论)。

低水位体系:主要由擂鼓台段中部的灰白色厚层石英砂岩夹粉砂岩和粘土岩组成。据张国栋等(1987)及张国芳等(1988)对其中的砂岩进行粒度分析认为:该体系域的沉积主要为河口三角洲相沉积,其中所含的大植物及孢粉植物群表明其为晚泥盆世法门晚期沉积。

海进体系域:主要由擂鼓台段上部的砂泥岩组成,以产植物碎片、疑源类及海相动物化石(如腕足类、腹足类及双壳类等)为特征,指示本区首次受较大规模的海泛影响,沉积了一套海相碎屑岩系,其上部所含的孢子化石表明为早石炭世杜内早期的沉积。

高水位体系域:主要由金陵组台地相碳酸盐岩组成,以含丰富的杜内晚期的生物化石为特征,顶部有时出现白云质灰岩,发育由暴露而形成的淋滤构造。

层序解释:该层序的底界面为一个岩性突变面,界面之下为灰色、灰红色泥岩和粉砂岩沉积,界面之上为河口三角洲相石英砂岩沉积,指示了一次新的沉积旋回的开始,故该界面为 I 型层序界面。在层序的低水位体系域中发现有典型的晚泥盆世最晚期的孢粉植物群,说明层序 I 的低水位期正好是晚泥盆世最晚期。直到早石炭世早期,本区才开始受大规模海侵的影响,接受一套海相碎屑岩沉积,组成了层序 I 的海进体系域。杜内晚期,下扬子海处于高水位期,海平面大幅度上升,原来的滨岸环境被淹,成为汪洋大海。沉积区远离物源区,海洋中水质条件有利于生物繁衍和碳酸盐生成,因此,整个下扬子区大部分地区超覆了一套进积型的碳酸盐沉积(金陵组),而只有西部宣城一带仍以王胡村组的碎屑岩沉积为主。它们构成了层序 I 的高水位体系域。之后,由于海平面的快速下降,原来的碳酸盐台地暴露于地表,因此在金陵组顶部可见淡水淋滤构造。

3.2 层序 I (图 2)

该层序包括高骊山组下部的紫红色含铁质粉砂岩、灰色泥岩、粉砂岩及杂色泥岩(层 1—7),发育低水位体系域、海进体系域、最大海泛面凝缩段及高水位体系域。

层序界面:该层序的底界面为高骊山组与下伏金陵组的分界面,为一区域性假整合面,属 I 型层序界面;其顶界面位于层 7 之顶,为层序 I、II 的分界面(见下文讨论)。

低水位体系域:由高骊山组底部沙质滨岸相紫红色铁质粉砂岩、灰色粉砂岩及粉砂质泥岩或红色泥岩(层 1—3)组成。泥岩中含菱铁矿和植物碎片,粉砂岩中发育遗迹化石 *Skolithos* 等。

海进体系域:由高骊山组下部泥沙质潮坪相泥岩和粉砂岩(层 4—6)组成,其中底部泥岩中产丰富的无铍纲腕足类化石,构成了 *Lingula* 群落,代表了层序 I 的首次海泛面。

最大海泛面凝缩段:由灰色薄层泥岩(层 6 上部)组成,产丰富的双壳类、腹足类、头足类及蠕虫管和遗迹化石 *Chondrites* 等,构成了 PV 群落,指示潮下带至波基面之间的低能环境。

高水位体系域:由滨岸相灰黄色、紫红色泥岩夹粉砂岩(层 7)构成。

层序解释:在早石炭世杜内晚期的海侵之后,下扬子区海平面普遍大幅度下降,以致高骊山组底部的假整合面几乎在整个下扬子区普遍发育。这一时期,南京附近接受低水位期沉积。沉积物以富含铁质成分为特征,有的剖面上(如句容高骊山)还可见赤铁矿层,指示一种

半暴露的潮上滨岸环境。在这一环境中,生活着一些蠕虫,留下许多垂直钻孔遗迹。

当海平面重新回升时,原来的滨岸带变成为潮间带。这一时期由于环境潮起潮落,盐度又不稳定,许多生物难以生存,只有穴居的 *Lingula* 较为适应,达到繁盛之极,构成 *Lingula* 群落。该时期的沉积构成了层序Ⅰ的海进体系域。层序Ⅰ的最大海泛面凝缩段较为发育,指示了该区海平面上升速率迅猛增大,沉积物供给不充分。当时海水的淹没范围相当大,生物繁盛,构成了PW群落。不久,海平面上升速率急剧下降,以致海平面出现停滞乃至回落,南京附近出现滨岸相泥岩和粉砂岩沉积,组成了该层序的高水位体系域。

3.3 层序Ⅲ(图2)

该层序由高骊山组中部的浅灰色粉砂岩及杂色泥岩(层8—12)组成,发育低水位体系域、海进体系域、最大海泛面凝缩段及高水位体系域。

层序界面:该层序的底界面位于层8与层7之间,为一岩性突变面。界面之下为层序Ⅰ高水位体系域滨岸相杂色泥岩沉积,界面之上为河口三角洲相细砂岩和泥岩沉积,指示海平面的快速下降,为Ⅰ型层序界面。该层序的顶界面为层序Ⅳ与层序Ⅲ的分界面(见下文讨论)。

低水位体系域:由该组中部河口三角洲相细砂岩和泥岩组成(层8—11)。泥岩中含植物叶片化石,细砂岩中发育大型斜层理和交错层理,并含植物茎干化石 *Sublepidodendron mirabile* 等。

海进体系域:由泥沙质潮坪相泥岩和粉砂岩(层11的下部)组成,产无铰纳腕足类 *Lingula* 及双壳类 *Nuculopsis gilbosa*, *Palaeoneila guizhouensis* 等化石。

最大海泛面凝缩段:由浅灰色泥岩(层11的上部)组成,以产丰富的海洋动物化石为特征,包括双壳类、腹足类、腕足类、头足类及海百合等,构成了SP群落,指示水动力不强的海湾环境。

高水位体系域:由三角洲相细砂岩(层12)组成,发育斜层理,产植物化石碎片。

层序解释:层序Ⅰ终止发育之后,下扬子海又处于低水位期,原来的滨岸带很快成为河口三角洲环境,堆积了一套厚层三角洲相砂泥岩沉积。不久,海平面又开始回升,原来的三角洲很快被海水淹没而成为潮间一潮下带滨海环境,接受了一套灰色泥岩及粉砂岩沉积,组成了层序Ⅲ的海进体系域。海平面持续上升一段时间后,上升速率又一次迅猛增大,海水第三次大面积超覆,形成层序Ⅲ的最大海泛面凝缩段沉积,以产丰富的生物化石为特征。这时期的海洋环境有利于多门类生物生存,形成了SP群落,原来局限的滨海环境成为较开阔的海湾环境。随着海平面上升速率的很快下降,海平面逐渐回落,原来较为开阔的海湾环境已不复存在,取而代之的是近滨环境,接受一套滨岸相砂泥岩沉积,保存了一些植物化石碎片,构成了层序Ⅲ的高水位体系域。

3.4 层序Ⅳ

该层序由高骊山组上部灰黄色细砂岩、粉砂岩与灰岩互层(层13—19)组成,发育海进体系域、最大海泛面凝缩段及高水位体系域。

层序界面:该层序的底界面为层序Ⅲ与层序Ⅳ的分界面,位于层13的底部。界面之下为层序Ⅰ高水位体系域三角洲相的细砂岩沉积,界面之上为潮坪相粉砂岩和泥岩沉积,代表一次新的沉积旋回的开始。该界面为Ⅰ型层序界面。该层序的顶界面位于高骊山组顶部,与一海泛超覆面重合(见下文讨论)。

海进体系域:由灰黄色泥质粉砂岩及灰黑色泥岩、粉砂岩(层 13—15)组成,该体系域底部泥质粉砂岩中产遗迹化石 *Cruziana*,其上部的砂泥岩中产丰富的生物化石,它们构成 VL 群落。

最大海泛面凝缩段:由高骊山组上部的浅灰色泥岩及灰岩(层 16)组成,以产丰富的生物化石和虫孔构造为特征,包括腕足类、珊瑚、海百合、苔藓虫、头足类及多毛类等,构成了 PK 群落,指示水动力较强的开阔浅海环境。

高水位体系域:由高骊山组顶部河口三角洲相细砂岩、粉砂岩和泥岩(层 16—19)组成。砂泥岩中产植物化石 *Sublepidodendron mirabile*, *Stigmaria* Sp. 等。

层序解释:层序 IV 是以海平面的快速上升开始的,故该层序不发育低水位体系域沉积,层序界面之上直接为海进体系域沉积。这一时期,海洋生物也曾一度繁盛,出现以双壳动物为主的 VL 群落,但当时环境仍不开放。之后,海平面上升速率再一次迅猛提高,这次海泛波及范围较前两次海泛要大,下扬子区出现大片的正常浅海环境,出现腕足类、珊瑚及海百合等为主的生态群落(PK 群落)。从腕足类和珊瑚的生物群面貌来看,除个别属种外,几乎所有分子均可在华南区找到,说明当时的下扬子海几乎与古华南海联成一片。同时,也反映该层序的最大海泛事件的规模相当大。不久,海平面上升速率又逐渐下降,海平面由缓慢上升、停滞乃至下降。原来的开阔浅海环境因海水大面积退缩而变成三角洲环境,接受三角洲相的砂泥岩沉积,构成了层序 IV 的高水位体系域。同样,层序 IV 亦因海平面的下降而结束。

3.5 层序 V

该层序主要包括和州组和老虎洞组,发育海进体系域及高水位体系域。

层序界面:该层序的底界面为和州组与下伏高骊山组的分界面,该层序界面和区域性的海泛超覆面重合,表现为和州组碳酸盐台地相沉积直接超覆在高骊山组顶部河口三角洲相沉积之上,说明该层序界面为 I 型层序界面。该层序的顶界面为老虎洞组与上覆黄龙组的分界,为一区域性暴露面。亦为 I 型层序界面。

海进体系域:由和州组半局限台地相泥灰岩组成,产丰富的生物化石,为维宪晚期沉积。

高水位体系域:主要由老虎洞组白云岩组成,其中早期高水位体系域沉积由老虎洞组下部次生白云岩组成,包含有丰富的珊瑚和牙形类化石;晚期高水位体系域沉积主要由老虎洞组上部的同生白云岩组成,发育藻纹层、藻条纹构造,亦见有干裂片组成的角砾状构造。

层序解释:层序 V 以区域性海泛上超开始,大规模的海平面上升淹没了下扬子区维宪期的三角洲环境,出现大面积的台地相碳酸盐沉积,构成了该层序的海进体系域。在高水位早期,海平面持续上升,堆积了一套进积型的碳酸盐沉积,后因次生白云岩化作用而成为次生白云岩,但仍含有丰富的生物化石(如珊瑚、牙形类)。生物化石表明该时期为早石炭世最晚期(谢尔普霍夫晚期)。高水位晚期,本区相对海平面出现停滞或缓慢下降,发育碳酸盐潮坪相同生白云岩沉积。牙形类化石表明这时已为晚石炭世早期。在晚石炭世早期,下扬子区出现区域性相对海平面下降事件,大片的碳酸盐沉积暴露出地表,出现区域性的白云岩化。最终,层序 V 因为海平面的持续下降而结束。

4 古海平面变化特征

早石炭世,南京附近的古下扬子海经历了 5 次重要的海平面升降事件,形成了 5 个三级层序。其中,层序 I 为跨纪沉积,指示海平面自晚泥盆世法门最晚期开始上升,直到早石炭世

杜内晚期才急剧下降。层序 I、III、IV 指示了三次规模不太大的海平面升降旋回,每次海泛都影响到下扬子分区,带来一些海相碎屑岩沉积。仅在层序 IV 的最大海泛时期,下扬子分区出现与华南区相似海洋动物群。说明这三次海平面升降旋回是在长周期海平面处于低水位时期发生的。层序 V 是以大规模的海水超覆开始的,至晚石炭早期海平面才缓缓下降,最终因碳酸盐台地的暴露而宣告结束。

在这 5 次海平面升降旋回中,有两次海平面上升特别引人注目:(1)层序 I 高水位时期的海平面上升使下扬子分区发育一套区域性的进积型碳酸盐沉积(即金陵灰岩),生物群面貌也与华南区的非常相似;(2)层序 V 的海进期和高水位早期的海平面上升,使得下扬子分区普遍发育一套退积型的碳酸盐沉积(即和州组的泥灰岩及老虎洞组下部的次生白云岩)。相比而言,层序 I、III、IV 所代表的海平面升降旋回规模不大,它们受长周期海平面下降所控制。不过,这一阶段的海泛事件似乎也是一次比一次规模大。此外,也有两次大规模的海平面下降事件也非常重要,即层序 I 与层序 II 之间的假整合面及层序 V 的顶界面所代表的海平面下降事件。前者形成本区高骊山组与下伏金陵组之间的区域性假整合面;后者则形成以老虎洞组上部白云岩沉积为特征的区域性暴露面。因此,上述 5 个三级层序(对应三级旋回)又构成了两个超层序(对应于二级旋回)——层序 I 归超层序 I,层序 II—V 则构成超层序 II。超层序 I 的底界应在五通组内(或其底部),超层序 II 的顶界即为层序 V 的顶界,两个超层序之间的界面位于高骊山组与金陵组之间(即层序 I、II 的界面)。这两个二级旋回的海平面上升以接受区域性的碳酸盐沉积为特征。层序 I、III、IV 则构成了超层序 II 的低水位期沉积。

正如前文所述,南京附近地区的下石炭统相当于西欧的杜内阶、维宪阶及谢尔普霍夫阶。下扬子区早石炭世两个超层序的三个层序界面分别位于上泥盆统法门阶、下石炭统杜内阶与维宪阶之间及上石炭统下部。

C. A. Ross 和 J. R. P. Ross (1987)^[7]据西北欧及北美密西西比峡谷的资料建立了早石炭世全球海平面变化曲线图(图 2)。他们共识别出 18 个三级层序分属于 Pike、Monroe、Randolph 超层序(相当二级层序)及 Kaskaskia 巨旋回(相当一级旋回)。他们并认为早石炭世全球海平面下降最低点分别位于下石炭统底部(即牙形类 *Siphonodella duplicata* 带与 *S. sulcata* 带之间)及其顶界(即牙形类 *Rachistognathus muricatus* 带与 *M. primus* 带之间)。在下石炭统内部,海平面下降的最低点位于 Warsaw 组对应的层序与 Salem 组下部对应的层序之间(即维宪阶的中部与上部之间)。但他们的超层序界面又不完全与上述界面重合。这一时期海平面上升的最高峰位于杜内阶中部,而维宪晚期至谢尔普霍夫晚期的海平面上升幅度远没有前者上升幅度大。

从前文的层序地层分析可知,南京附近地区早石炭世两个超层序分别包含有部分的晚泥盆世地层及晚石炭世地层,并具明显的两分性。该时期海平面上升的最高峰应发生于维宪晚期至谢尔普霍夫期之间,而不是杜内中期。本文的层序 I 大致相当于 C. A. Ross 和 J. R. P. Ross (1987)旋回表中对应于杜内阶的 4 个沉积层序,最大海泛发生于杜内晚期而不是中期。层序 II—IV 对应于全球旋回表中维宪早、中期的 4 个沉积层序。这一时期的沉积层序所代表的海泛规模一次比一次要大,而不象旋回表中该时期的沉积层序所代表的海泛规模一次比一次萎缩。层序 V 大致相当全球旋回表中维宪晚期至谢尔普霍夫晚期的 10 个沉积层序。它所代表的海泛事件达到早石炭世海侵的最高峰。

造成本区海平面变化特征与全球旋回表中的海平面变化特征的不一致有两个方面的原因:(1)下扬子区早石炭世处于特殊的古地理位置,古下扬子海与其它广海并不直接联通,其相对海平面变化并不与全球海平面变化保持一致;(2)C. A. Ross 和 J. R. P. Ross(1987)在总结全球海平面升降旋回时仅仅是根据西欧和北美中大陆的资料,忽略了东特提斯区,特别是华南的海平面变化的资料,因而他们所作的全球旋回表本身有局限性,并不能代表全球该时期的海平面变化特征。

参 考 文 献

- 1 张遵信等. 江苏地区下扬子准地台石炭纪生物地层研究. 江苏地区下扬子准地台震旦纪—三叠纪古生物地层. 南京, 南京大学出版社, 1988, P. 169—208
- 2 王增吉等. 中国的石炭系. 北京, 地质出版社, 1990, P. 85—100
- 3 欧阳舒、陈永祥. 江苏句容泥盆—石炭系孢子组合并讨论五通群的时代问题. 中科院南京地质古生物所集刊, 1987, 22号
- 4 李星学等. 长江下游五通组研究新进展. 中国地质科学院院报, 1984, 9号, P. 119—132
- 5 张国栋等. 苏皖地区晚泥盆世五通组海侵及其沉积环境讨论. 地质论评, 1987, 33(1), P. 69—77
- 6 张瑛等. 老虎洞白云岩的成因特征. 南京地质矿产研究所所刊, 1984, 5(1), P. 8—15
- 7 Ross, C. A. and Ross, J. R. P. Late Paleozoic sea levels and depositional sequences. Cushman Foundation for Foraminiferal Research, Spec. Publication 24, 1987, 39—65

EARLY CARBONIFEROUS SEQUENCE STRATIGRAPHY AND SEA-LEVEL CHANGES IN THE NINGZHEN MOUNTAIN AREA NEAR NANJING, JIANGSU

Chen Zhongqiang Zhang Haichun Li Jianguo

Nanjing Institute of Geology and Palaeontology, Chinese Academy of Sciences

ABSTRACT

This paper focuses on the Early Carboniferous sequence stratigraphy of the Ningzhen mountain area. Based on sedimentary facies and ecological analysis, five sequences equivalent to the third-order cycles are recognized in the Wutong, Jinling, Gaolishan, Hezhou and Laohudong Formations in the study area. Two major drops corresponding to the supersequence boundary are also identified in the Lower Carboniferous, one occurs at the boundary between the Jinling and Gaolishan Formations; another appears at the uppermost of the Laohudong Formation. Moreover, the Early Carboniferous sea-level curve for the Lower Yangtze Sea has been reconstructed by the authors according to the above-mentioned sequence stratigraphic analysis for the Nanjing region. This curve is different from the synchronous eustatic curve by Ross and Ross (1987) because of the specific palaeogeographic position of the study area.

Key words: sequence stratigraphy, Lower Carboniferous, Ningzhen Mountains