

苏皖地区石炭系露头层序地层研究^①

林春明 张 顺 王淑君 刘家润 凌洪飞

(南京大学地球科学系 成矿作用国家重点实验室 南京 210093)

摘 要 应用露头层序地层学基本原理和方法,在详细的岩石岩相学、沉积学、地球化学研究和精细的地层划分对比基础上,对苏皖地区石炭系地层进行了露头层序地层研究。阐述了沉积层序的各种界面的露头标志,探讨了三级层序和层序区域对比的基本特征。研究表明,苏皖地区石炭系可识别出9种主要岩相、20种微相和11个三级沉积层序。I型沉积层序边界识别标志有地表或海底侵蚀、地地上超,界面上下岩性岩相、古生物及氧碳同位素值的突变,界面的区域可对比性等,在研究区主要表现为古风化壳面、古岩溶面、侵蚀面和暴露面四种类型。陆表海盆海水较浅,沉积物常露出水面而遭受侵蚀,形成较多的I型层序边界。三级层序发育TST,LST不发育或难以识别。

关键词 层序地层 石炭纪 苏皖地区

第一作者简介 林春明 男 1964年出生 副教授 博士 石油地质学与沉积学

中图分类号 P539.2 **文献标识码** A

目前,层序地层学经众学者发展和完善,已形成较为完整的理论体系,并在实践中取得丰硕成果^[1-4]。对露头层序地层学而言,运用的是综合地层学方法,主要是通过野外地层露头的沉积相,特别是沉积微相的研究来识别层序的关键界面^[3,4],并通过对生物地层、地球化学分析资料 and 不同地区、不同沉积相区的对比研究,来完成盆地的层序地层划分。笔者等人近年来先后对江苏境内的南京孔山、句容干船山、宜兴丁蜀和安徽巢湖凤凰山石炭系露头剖面(图1)进行野外测制。本文正是运用露头层序地层学的基本理论和研究方法,在详

细的岩石岩相学、沉积学、地球化学研究和精细的地层划分对比基础上,对苏皖地区石炭纪地层进行了露头层序地层研究。

1 地质背景

苏皖地区石炭系露头主要分布在安徽省全境和江苏省南部(图1),出露良好,地质构造简单,分层清楚,各剖面沉积岩学特征差异较为明显,所含化石丰富,包括多门类的底栖动物、浮

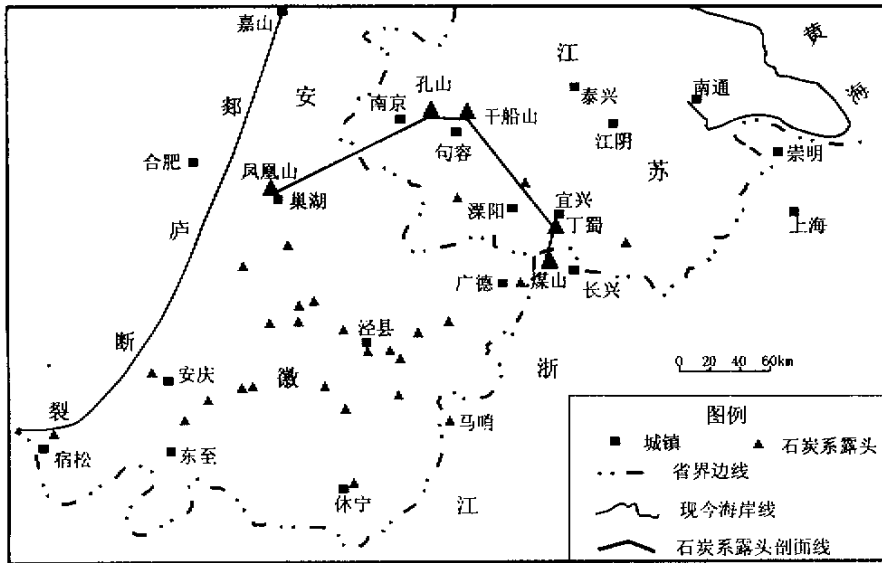


图1 苏皖地区石炭系露头分布及剖面位置图

Fig.1 Locations of outcrops and sections of the Carboniferous strata in Jiangsu and Anhui Provinces

^① 南京大学人才引进培养基金、预研基金和成矿作用国家重点实验室开放基金资助

游动物和植物化石。苏皖地区自晚泥盆世至石炭纪结束,处于加里东运动之后、海西初的构造活动宁静期,石炭纪基底是稳定的克拉通陆壳,地形逐渐夷平,火山活动微弱,石炭纪沉积物薄而稳定,整个石炭系厚度不超过 250 m,数米厚的金陵组、和州组等,从下扬子延到中扬子,其岩性、生物群酷似,为一典型陆表海盆^[5]。根据生物化石组合,本区石炭系可以划分为二统四阶、7个岩石地层单位(图2)。

研究区石炭纪生物地层学研究程度较高,而层序地层学方面还相对薄弱,认识也不同。有人认为研究区石炭系剖面存在6个或4个三级沉积层序^[6,7],也有人认为早石炭世就有5次三级海平面升降事件,形成5个三级层序^[8]。造成本区这种认识上不确定的原因主要是层序级别划分、确定层序的标准、不同相带间层序对比、三级层序的界面和时间延续等方面存在差异^[4,9,10]。

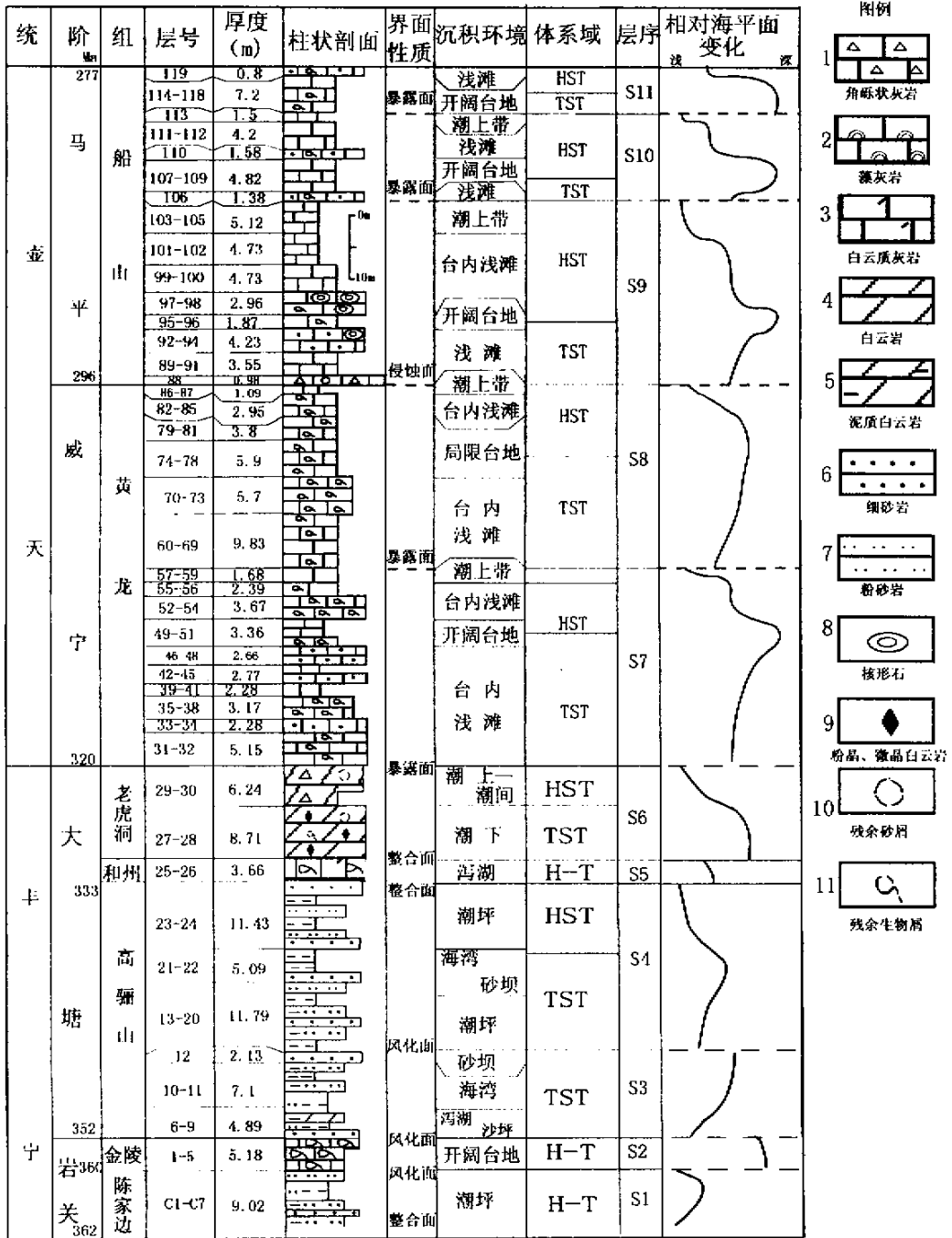


图2 南京孔山石炭系剖面层序划分及特征

Fig.2 Carboniferous sequence division and characteristics of Kongshan profile, Nanjing area

2 沉积相与沉积模式

根据剖面沉积特点和相序配置关系,研究区可识别出如下9种岩相、20个微相(表1),各岩相和微相已有详细的描述^①,此不赘述。

本区早石炭世的金陵期、和州期及老虎洞期和晚石炭世主要沉积了碳酸盐岩沉积物。碳酸盐岩沉积的水深可分为相对五个带,由四个基面所限定,由浅至深为:1)平均高潮面之上的潮上带;2)高潮面至低潮面之间的潮间带;3)低潮面至正常浪基面之间的潮下带上部;4)正常浪基面至风暴浪基面之间的潮下带下部;5)风暴浪基面之下的潮下带静水带。在不同的沉积环境位置、不同的沉积相区、不同的相带,这五个带的沉积特征,则有着明显的差异,并且同一水深带在不同环境格局中沉积物的特征也并非完全相同。如潮下带上部,在台地边缘滩、礁的广海一侧具有潮下高能特征,而滩、礁的近陆侧则具有潮下低能特征,在局限台地环境,其内沉积物也具有潮下低能特征。

研究区早石炭世陈家边和高骊山沉积期,由于地形差异、物源的变化、水动力能量强弱等因素,使沉积体在平面分布上还存在一些不同的碎屑岩组合。当地形较平坦、河流能量较小、河流携带物质较细、海水能量较强等情况时,可形成滨岸沼泽—碎屑潮坪—浅海陆棚沉积体系;当地势平坦、河流能量大、河流携带物质较多、海水能量相对较弱等情况下,则形成河流—三角洲—陆棚沉积体系。

本文所涉及地层的岩性、沉积构造、特殊沉积物等丰富、多样,为地层形成时期沉积环境解释、沉积基底相对水深的判别,以及露头层序地层的分析,提供了充分的依据(表2)。本文对实测剖面地层沉积环境的认识,主要是依据上述论述以及结合剖面纵向、横向沉积学特征的变化和生物化石类型、形态及其组合所作出的综合判断。

3 层序地层分析

3.1 层序边界的确定

陆表海盆沉积层序边界有下面两种类型,即I型层序边界和II型层序界面。

3.1.1 I型层序界面

I型层序边界是由于海平面相对下降造成的陆上或水下侵蚀而产生的,标志着海平面的相对下降,具有很好的等时性,是层序划分的基础。其识别标志有地表或海底侵蚀、地层上超、界面上下岩性岩相及古生物突变、区域可对比性等。在本地区存在以下四种类型I型层序边界(图2):

(1) 沉积间断古风化壳(面)假整合

如南京的孔山(图2)及巢湖凤凰山^[12]剖面高骊山组与金陵组间的界面为一古风化壳,厚10~20cm,由金陵组上部的灰白色泥质泥晶灰岩到顶部紫红色铁质粉砂质泥岩,然后逐渐过渡到黑褐色褐铁矿层,再上为高骊山组底部的灰白色石英细砂岩,表现出层序界面上下岩性岩相的突变,以及金陵组顶部地层暴露地表,遭受风化剥蚀的特征。

生物演化方面,该古风化壳面发生在珊瑚 *Kuei-chouphyllum*—*Heterocaninia tholusitabulata* 组合带与 *Pseudouralinia* 珊瑚带、腕足动物 *Lingula*、*Orthotichia*、*Punctospirifer* 等与 *Eochoristites*—*Camarotoechia*—*Chonetes* 组合带之间,这一不整合构成了生物群环境更替和变异的界限,表现为新兴生物分子的出现,而岩关阶繁盛的生物群分子则衰退以至绝灭,这与四川江油马角坝石炭系S3底界面生物演化特征^[2]相似。此外,研究区金陵组与陈家边组界面也见有数厘米厚棕黑—黑色铁锰质的风化粘土层,其界面也为古风化壳面。

(2) 古岩溶假整合

仅在巢湖凤凰山剖面的第24层、第25层和第29层灰黄色含泥质结晶灰岩中观察到^[11]。其顶部岩石表面呈起伏不平的疙瘩状,因重结晶作用,原岩石结构已全破坏。结晶方解石晶粒占90%,全部重结晶呈花斑状结构,并可观察到二期重结晶,第一期为均匀的粉晶大小的重结晶,第二期为边界不清楚的花斑大晶体,在具有边缘空间的地方,晶体具淋滤生长的栉壳状晶簇。在部分空洞和自由空间处发育栉壳状晶簇,其中的溶孔中贯入泥质物和细粉砂,为地层暴露、淡水淋滤,岩溶再结晶作用,形成“岩溶岩”,因部分CaCO₃被淋溶带走,使岩石表面形成疙瘩状。岩石表面疙瘩状的“岩溶岩”碳同位素值为δ¹³C

表1 苏皖地区石炭系岩相及其对应的沉积环境

Table 1 The Carboniferous lithofacies and their depositional environment of the Jiangsu and Anhui Provinces

岩相	沉积环境(沉积微相)
1 石英砂岩相	沙坪、砂坝
2 泥质岩相	泻湖、海湾、潮坪
3 微晶生物屑灰岩相	碳酸盐开阔台地、局限台地、海湾
4 亮晶颗粒灰岩相	碳酸盐台内浅滩、亮晶含砂屑生物屑灰岩、亮晶生物屑砂屑灰岩、亮晶团块球粒灰岩
5 鸟眼、石膏假晶微晶(泥晶、粉晶)灰岩相	碳酸盐岩潮坪,似鸟眼凝块微晶灰岩、鸟眼粉屑微晶灰岩、含石膏假晶泥晶灰岩、含粉屑微晶灰岩、含泥质粉砂质粉晶灰岩
6 砂屑砾屑灰岩相	碳酸盐台内浅滩、碳酸盐生物滩
7 生物屑泥晶灰岩相	碳酸盐开阔台地
8 白云岩相	潮下、潮上、泻湖
9 核形石灰岩相	碳酸盐台内浅滩

① 林春明,沉积地层的层序地层学研究——以苏皖地区石炭系和浙江沿海平原第四系为例,南京大学博士后研究报告,1999

表2 苏皖地区石炭系主要沉积特征与环境解释

Table 2 The Carboniferous sedimentary characteristics and their environmental analysis in the study area

沉积特征	环境意义	沉积特征	环境意义
干裂	潮上—潮间带	冲刷面	低能, 潮间带
鸟眼构造	潮上—潮间带	滑塌构造	高能斜坡
石膏假晶	蒸发环境	碳酸盐岩角砾	高能斜坡、台地浅滩
自生黄铁矿	还原的海湾环境	砾屑, 砂屑	高能浅滩、潮汐通道、海滩
富含有机质并发育泥钙质	还原性较高、沉积速率缓慢的环境	团块	低—中能浅滩、礁后泻湖
红色铁质矿物	氧化环境	微晶、泥晶方解石	低能深水、潮坪和泻湖区
铁锰质风化石	氧化环境	亮晶方解石	高能台地浅滩
水平纹层理	低能的深海(湖)海湾、泻湖、潮坪、沼泽环境	核形石(藻核形石)	中—高能浅滩、礁后泻湖
干涉波痕、削顶波痕	低能、潮坪	藻纹层	潮坪
浪成沙纹层理	滨海、陆棚、湖泊等	生物水平潜穴	低能, 潮下
羽状交错层理	潮间、潮沟、三角洲	生物垂直钻孔	中—高能, 潮间

= -2.73‰ ~ -3.45‰(PDB), 表现为高的负异常值; 氧同位素值为 $\delta^{18}\text{O} = -5.16\text{‰} \sim -9.06\text{‰}$ (PDB), 为非常高的负异常值。根据 Keith 和 Weber^[12] 推导出的盐度 Z 值为 116.81 ~ 118.59, 表明岩石可能遭受明显的大气淡水作用。

(3) 侵蚀假整合

层序界面明显凹凸不平, 为一典型的侵蚀面, 充填物多为砂屑砾屑灰岩, 下伏地层沉积物多为含生物屑泥晶灰岩、微晶灰岩。如研究区的船山组与黄龙组之间的界面, 就是一个区域性的侵蚀假整合面。

沉积地球化学方面, 以南京孔山剖面为例(图3), 下伏层序高水位体系域顶部岩石为黄龙组顶部灰黑色(含生物屑)泥晶灰岩, 其 $\delta^{13}\text{C} = -1.68\text{‰} \sim -1.93\text{‰}$ (PDB), 呈上石炭统负的最大值, 氧同位素值为 $\delta^{18}\text{O} = -8.64\text{‰} \sim -8.83\text{‰}$ (PDB), 为非常高的负异常值, 盐度 Z 值为 119.0 ~ 119.5, 表明岩石遭受明显的大气淡水作用。上覆海侵体系域底部岩石为船山组底部灰色砂屑砾屑灰岩, 其 $\delta^{13}\text{C} = +1.45\text{‰}$ (PDB), 表现为较高的正异常值, 氧同位素值为 $\delta^{18}\text{O} = -10.12\text{‰}$ (PDB), 为极高的负异常值, Z 值为 125.2, 表明岩石为盐度正常的海水成岩环境。总之, 层序界面上下岩石氧碳同位素值相差最大, 存在明显的突变, 这与黔南独山此界面碳同位素变化一致^[9]。

生物演化上, 该界面之下为 筳类 *Fusulina—Fusulinella* 组合带, 之上为 *Triticites* 带, 珊瑚 *Kionophyllum* 一属以及腕足动物 *Choristites* 组合在此界面之下灭绝, 层序界面与生物地层界线吻合。此界面在黔南独山也表现为明显的地层结构转换面和上超面^[9], 石炭纪 筳类最大绝灭期也发生在此界面。这可能是由冈瓦纳大陆冰川事件引起的海退事件造成的^[9, 13]。

(4) 暴露面: 为地层之间不存在上述类型的假整合接触关系, 表现界面之下岩石淡水成岩作用发育, 有白云岩化现象, 见干裂、鸟眼构造以及溶蚀孔洞缝、石膏假晶等浅水暴露标志物。研究区主要发育在黄龙组与老虎洞组之间的地层接触关系。在黄龙组与老虎洞组之间的界面上, 生物演化则表现出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 筳类以新兴的 *Pseudostaffella* 最为特

征, 在晚石炭纪初期首次出现后, 很快就繁衍起来, 个体数量丰富, 分布广; 而早石炭世晚期繁盛的 *Millerella—Eostaffella* 基本绝灭。晚石炭纪初期珊瑚远不及早石炭世晚期珊瑚丰富, 但以新兴的 *Kionophyllum—Chaeteteslungtanensis* 组合出现为特征, 而早石炭世晚期的珊瑚 *Yuanophyllum kansuense—Aulina carinata—Lithostrotion mecoyanum* 组合分子则很少见。

3.1.2 II 型层序界面

当相对海平面下降速率小于沉积滨岸坡折带沉降速率时, 发育 II 型层序界面, 因此, 在沉积滨岸坡折带及其向海一侧不发生相对海平面的下降, 以及广泛的陆棚暴露和界面上的沉积相缺失, II 型层序界面相应为整合面, 在沉积滨岸坡折带向陆一侧地表暴露、缓慢刻蚀、地形逐渐夷平和沉积滨岸坡折带向陆一侧海岸上超的向盆地迁移为特征^[14]。与 I 型层序边界对比, 无河流回春和向盆地方向的相位移, II 型层序界面暴露时间短、侵蚀量小, 淡水成岩作用规模小、强度弱。II 型层序界面在研究区的陆表海盆背景下反映为陆上暴露面、风化面, 但该界面表现为岩性岩相及古生物呈相对渐变特征, 海平面也是呈过渡变化的, 此外, 我们还结合碳、氧同位素地球化学特征及其等时地层单元资料, 划分出 5 个 II 型层序界面, 即层序 S1、S4、S8、S10、S11 的底界面。如船山组和黄龙组地层内部的暴露面, 即层序 S8、S10、S11 的底界面, 层序界面上下岩性岩相及古生物呈渐变特征, 海平面也是呈过渡变化的, 碳、氧同位素值呈渐变趋势(图3), 虽然船山组两个暴露面 $\delta^{13}\text{C}$ 值下降较大, 但相应的 $\delta^{18}\text{O}$ 值却升高(尤其是上部第 113 层), 它们的盐度 Z 值为 121.2 ~ 121.5, 显然这不是淡水淋滤作用的结果^[15], 因此, 将它们划分为 II 型层序界面。

3.2 层序中的地层界面

层序内划分体系域的关键是识别和确定初始海泛面和最大海泛面。

初始海泛面 即是初始海侵面, 为海侵体系域与下伏低位体系域间的物理界面。一般是一个生物辐射演化面, 随着海进的开始, 新生生物大量发生和繁衍^[4, 16]。初始海泛面也是一个非常明显的副层序结构转换面, 其下为进积到加积的

副层序组,其上以退积副层序组为特征。本区陆表海一般缺失,表现为不失或不发育低位体系域,因此,初始海泛面常与层序边界重

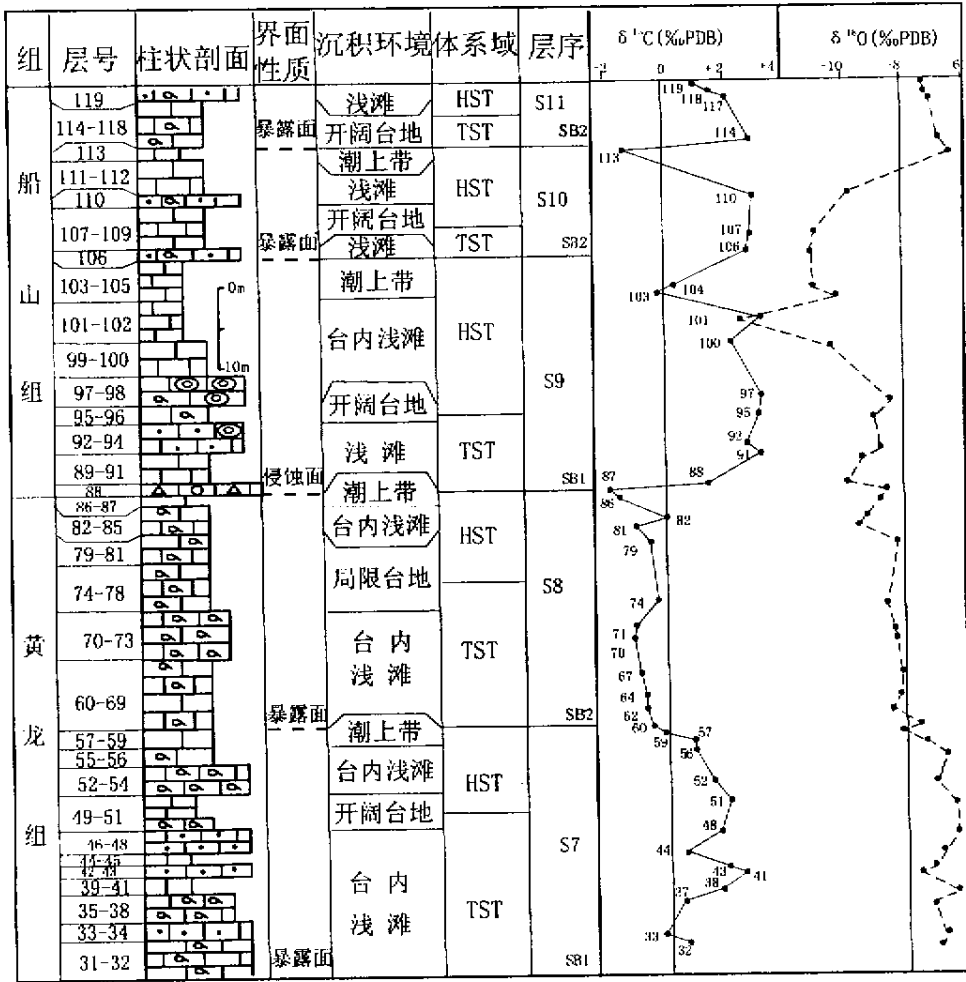


图3 南京孔山剖面上石炭统层序及碳、氧同位素演化曲线

Fig.3 The upper Carboniferous sequence characteristics and the evolution curves of $\delta^{13}C$ and $\delta^{18}O$ in Kongsan profile, Nanjing

整合。

最大海泛面 是指海侵时海平面上升速率变缓,趋于相对稳定,达到最大海侵时的沉积物界面,是沉积层序中唯一的等时面^[17],也是海侵体系域的顶界面。它既不是一个生物绝灭面,也不是一个生物爆发面^[4],一般为生态转化面,不过,在不同沉积盆地背景及不同沉积相带差异^[2]。在研究区,表现在以碳酸盐沉积为主的台地环境,最大海泛期主要沉积了薄层泥晶灰岩、生物屑泥晶(微晶)灰岩,以碎屑岩沉积为主的潮坪—泻湖或三角洲—陆棚环境,沉积物主要为薄层灰色泥岩、页岩和生物屑泥灰岩为特征,含丰富腕足类、珊瑚、海百合、苔鲜虫等生物化石和虫孔构造,如高骊山组的两个沉积层序。

3.3 层序划分对比

三级层序是层序地层学研究的主要对象和基本层序地层单位。根据露头层序地层原理,主要考虑层序关键界面、相序变化特征及准层序叠置样式、层序区域追踪对比性,并通过对比

生物地层、层序的碳氧同位素特征,将苏皖地区石炭系划分出11个三级层序(图2、图3),分别命名为S1~S11。上述11个三级层序反映研究区石炭纪具有11海平面升降旋回,若以石炭纪(362~277)85 Ma计,平均每个层序约为7.7 Ma,与Goldhammer等人^[18]提出的三级层序延续时间在1~10 Ma大致相当,与川滇黔桂地区石炭纪三级层序时限基本一致^[29]。在地层记录中,可以识别出两种类型层序,即I型层序和II型层序,I型层序底部以I型层序界面(SB1)为界,II型层序底部以II型层序界面(SB2)为界。在浅水陆表海和克拉通盆地构造背景下,沉积层序的底部可能以海侵体系域(TST)开始,其上为高水位体系域(HST)^[19,20],低水位体系域(LST)在广大范围内可能不存在或难以识别。通过对苏皖地区五个典型剖面的观测对比研究,我们建立起了苏皖地区石炭系层序地层格架(图4),进行了层序区域对比及区域沉积环境变化的研究。我们从而而上按层序沉积的先后进行区域综合对比分析。

S1 对应的岩石地层单位为陈家边组。界面之上为石英细砂岩、长石石英砂岩,再上沉积了灰白色泥岩、紫红色铁质小粒泥岩,具平行、波状层理、生物扰动、生物钻孔构造,自巢湖至煤山地区,岩性变化不大,基本为潮坪沉积环境,由孔山

该层序粉砂质泥岩及页岩化学成分与稀土元素含量变化分析,证实了这一结论。之后海面下降,沉积层暴露水面,形成 4 cm 厚棕黑

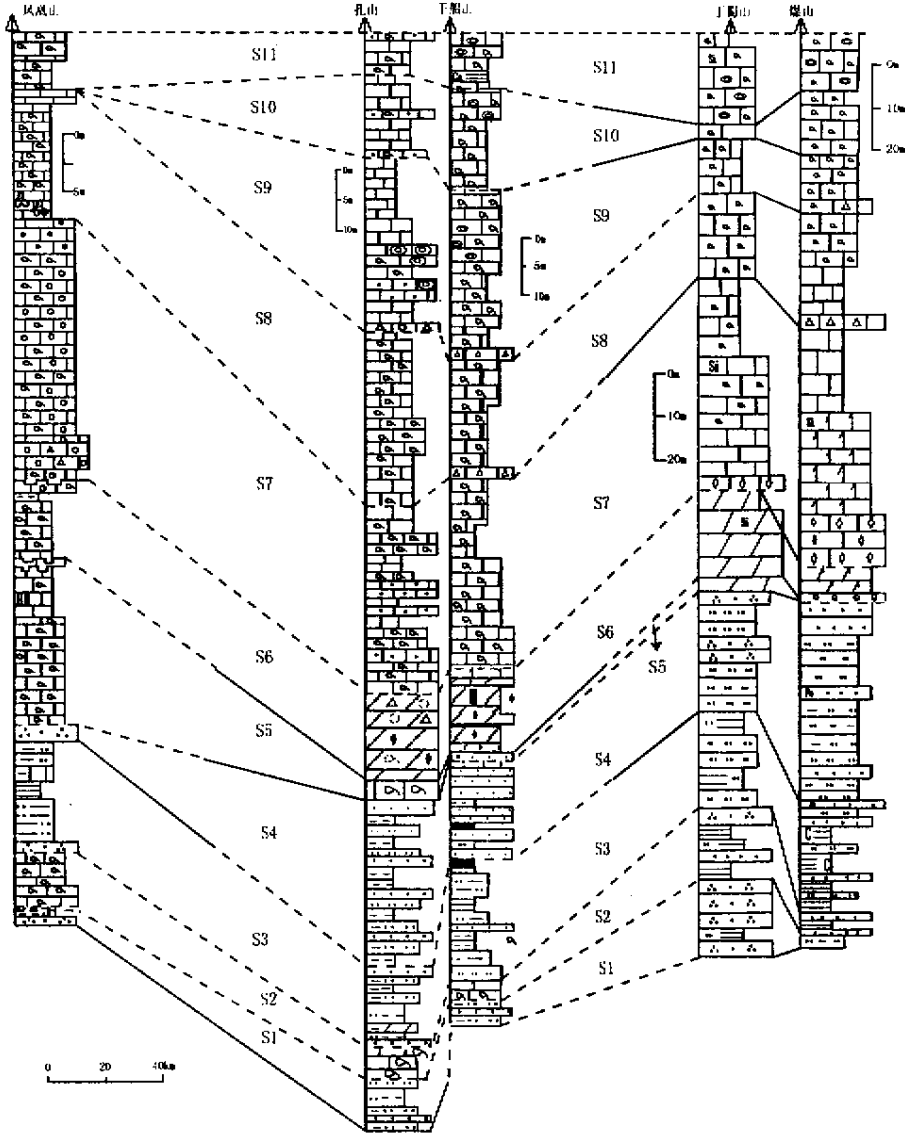


图 4 苏皖地区石炭系典型剖面层序划分对比(图例同图 2、3)

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

—黑色铁锰质风化壳。

S2 对应金陵组。在凤凰山、孔山与干船山地区为水体较深的台内浅滩相亮晶含砂屑生物屑灰岩和开阔台地相的微晶生物屑灰岩,而在丁蜀与煤山地区属于水体较浅滨岸—潮坪环境的细砂岩、粉砂质页岩与页岩。随后海面下降,形成 0.2 m 厚的紫红色铁质粉砂质泥岩,顶面暴露风化成灰黑色铁锰质风化壳。

S3 位于高骊山组下部。岩性各地区变化不大,主要为细砂岩、粉砂质页岩、泥岩,但在煤山剖面有炭质页岩出现,而在干船山剖面发育了几厘米厚的煤层。这些都与沼泽、滨岸等沉积环境有关。总体来说,该层序处在水体较浅的沉积环境中,如沙坪、海湾、泻湖、沙坝、滨岸、沼泽等。该层序从凤凰山

到煤山逐渐加厚,由 9.68 m 逐步增加到 24.00 m。

S4 位于高骊山组上部。岩性变化方面,凤凰山为沙坝环境的石英细砂岩,孔山沉积了泥岩、粉砂质页岩、粉砂质泥岩、泥质粉砂页岩,为潮坪—砂坝—海湾—潮坪环境,完成了一个海平面由低到高再由高到低的较完整的旋回。干船山、丁蜀以及煤山地区沉积环境变化不大,主要为滨岸、潮坪与滨海夹沼泽等水体较浅的环境,岩性主要为细砂岩夹薄层泥岩、石英细砂岩与粉砂岩交互沉积。在厚度方面,凤凰山地区仅为 1.4 m,其余四个地区厚度变化在 14.9~45.8 m 之间。

S5 对应和州组。在巢湖地区,由于海面快速上升,开阔台地相深灰色微晶生物屑灰岩直接在高骊山组之上,构成 TST;之后海面缓慢下降,沉积了局限台地相含泥质白云质生

物屑粉晶灰岩和潮坪含石膏假晶泥晶灰岩,最后,由于构造作用下下降缓慢,使沉积界面暴露,出现二次古岩溶事件,形成褐黄色粉晶灰岩,构成 HST, 氧碳同位素为一完整的旋回, 厚度 14.0 m。在煤山缺失此层序, 在孔山、干船山、丁蜀地区此层序出现了白云岩化现象, 由此推测它们的沉积环境应为水体较浅的泻湖、沙坝、潮坪等环境, 厚度仅 1.90~3.66 m, 副层序特征不明显。

S6: 在巢湖地区, 位于老虎洞组下部, 其底界面为古岩溶假整合。海面略有上升, 沉积了局限台地相含亮晶微晶生物屑灰岩, 构成 TST。后海面下降, 沉积了潮坪相黄绿色铁质斑点状泥岩, 然后, 地层暴露水面, 淋滤形成大量显微溶孔, 再被碎屑物充填, 形成古岩溶, 构成 HST。其它地区该层序对应老虎洞组, 岩性为残余砂屑粉晶白云岩、含残余生物屑粉晶白云岩、硅质白云岩。厚度方面, 凤凰山与煤山该层序较薄, 7.0 m 左右, 其余剖面在 15.0~20.0 m。

S7: 巢湖地区对应老虎洞组上部和黄龙组下部地层, 为跨时代的层序, 其底界面为古岩溶假整合。随海面上升, 沉积了台内浅滩相砂屑生物屑灰岩、生物滩相的砂屑砾屑灰岩和开阔台地相含砂屑生物屑灰岩, 构成 TST, 然后海面缓慢下降, 形成台内浅滩相含亮晶微晶生物屑灰岩和亮晶团块球粒灰岩, 构成 HST。最后沉积层暴露水面, 发生沉积间断。

其它地区该层序对应黄龙组下部地层, 沉积环境较为类似, 为开阔台地—潮坪相环境, 厚度则由凤凰山向煤山方向依次变厚, 从 22.06 逐步增加到 54.5 m。

S8: 位于黄龙组上部。沉积环境为潮坪、浅滩、局限台地、开阔台地等环境, 岩性总体来说变化不大, 主要为生物屑泥晶(微晶)灰岩、微晶灰岩。

S9 和 S10 层序位于船山组中下部。凤凰山地区由于 S8 后期海面下降, 地层暴露水面, 发生沉积间断, 没有接受沉积。之上地层生物化石分析, 见有马平阶晚期的 *Eoparafusulina* sp. 和 *Dictyolostus* sp. 化石带, 与贵州独山^[9]和南京附近孔山、干船山、丁蜀山和煤山石炭系剖面相比, 缺失船山组下部的 *Triticites* 带, 此带包括 S9 和 S10, 因此巢湖凤凰山剖面缺失 S9 和 S10^[11]。

孔山、干船山地区岩性为含生物屑核形石灰岩、含核形石球粒灰岩、微晶灰岩与泥晶灰岩等; 丁蜀山与煤山均为生物屑微晶灰岩。孔山地区的该层序样品薄片镜下可见鸟眼构造, 从而可判断部分地层处于潮上带环境, 其余地区与孔山地区一样都有浅滩、局限台地、开阔台地环境。

S11 位于船山组上部。凤凰山底部岩石表面粗糙, 溶孔发育, 并具有有机臭味, 为一侵蚀面, 其余为暴露面。凤凰山为鸟眼含生物屑粉屑微晶灰岩与生物屑微晶灰岩; 孔山为含生物屑微晶灰岩与含生物屑球粒灰岩; 干船山为含生物屑核形石灰岩与钙质页岩; 丁蜀山与煤山为含生物屑核形石灰岩, 还见含生物屑微晶灰岩。核形石在该层普遍出现。对于沉积环境, 除凤凰山出现潮坪环境外, 其余均为台内浅滩、开阔台地等沉积环境。

4 结论

(1) 研究区石炭纪为一典型陆表海盆, 其地形平整, 难以形成大范围的侵蚀不整合。因构造下降相对缓慢, 海水较浅, 沉积物界面与海平面较接近, 其容纳空间较小, 因此, 沉积物常露出水面而遭受侵蚀, 形成较多的假整合 I 型层序边界以及出现相序缺失。

(2) 陆表海盆沉积层序边界存在 I 型和 II 型层序边界类型。前者识别标志有地表或海底侵蚀、地层上超, 界面上下岩性岩相、古生物及氧碳同位素值的突变, 界面的区域可对比性等, 在本区主要存在为古风化壳面、古岩溶面、侵蚀面和暴

露面四种类型。

(3) 苏皖地区石炭系可划分出 11 个三级层序, 每个三级层序反映研究区石炭纪具有 11 海平面升降旋回, 若以石炭纪 362~277 Ma 计, 平均每个层序约为 7.7 Ma。三级层序发育 TST, 有时缺失 HST, LST 不发育或难以识别。

感谢 黄志诚、张瑛、陈宏明、朱嗣昭、陈智娜、金洋、徐进、陈荣等同志给予的指导和帮助。

参考文献 (References)

- 王训练, 林善园. 上扬子地台南缘不同沉积相区上泥盆统和下石炭统沉积层序之对比[J]. 沉积学报, 1999, 17(3): 331~338 [Wang Xunlian, Lin Shanyuan. Correlation of the Upper Devonian and Lower Carboniferous depositional sequences in the different facies belts on the Southern margin of the Upper Yangtze platform [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1999, 17(3): 331~338]
- 彭军, 陈洪德, 田景春等. 川滇黔桂地区石炭系层序地层研究[J]. 沉积学报, 2000, 18(2): 190~197 [Peng Jun, Chen Hongde, Tian Jingchun, et al. Sequence stratigraphy study on Carboniferous strata in Sichuan, Yunnan, Guizhou and Guangxi [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2000, 18(2): 190~197]
- 史晓颖, 雷振宇, 阴家润. 珠穆朗玛峰北坡下侏罗统层序地层及沉积相研究[J]. 地质学报, 1996, 70(1): 73~83 [Shi Xiaoying, Lei Zhenyu, Yin Jiarun. Lower Jurassic sequence stratigraphy and sedimentary facies on north slope of the mount Qomolangma [J]. Acta Geologica Sinica, 1996, 70(1): 73~83]
- 王训练. 露头层序地层学研究的几个理论问题[J]. 中国科学(D 辑), 1999, 29(1): 22~30 [Wang Xunlian. The theoretic problems in studies on outcrop sequence stratigraphy [J]. Science in China (Series D), 1999, 29(1): 22~30]
- 陈宏明, 吴祥和, 张瑛等. 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. 1~79 [Chen Hongming, Wu Xianghe, Zhang Ying, et al. Carboniferous lithofacies, paleogeography and mineralization in South China [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1994. 1~79]
- 陈宏明, 张瑛. 下扬子区石炭纪层序地层与海平面变化[J]. 华东油气勘探, 1997, 15(2): 1~11 [Chen Hongming, Zhang Yin. The Carboniferous sequence stratigraphy and sea level changes in Lower Yangtze area [J]. Oil and Gas Exploration in Eastern China, 1997, 15(2): 1~11]
- 夏军, 徐家聪. 巢湖地区石炭纪地层格架[J]. 安徽地质, 1998, 8(3): 38~44 [Xia Jun, Xu Jiacong. The Carboniferous stratigraphic framework in the Chaohu area [J]. Geology of Anhui, 1998, 8(3): 38~44]
- 陈中强, 张海春, 李建国. 南京附近宁镇山脉下石炭统层序地层特征[J]. 岩相古地理, 1996, 16(5): 38~46 [Chen Zhongqiang, Zhang Haichun, Li Jianguo. Early Carboniferous sequence stratigraphy and sea-level changes in the Ningzhen Mountain area near Nanjing, Jiangsu [J]. Lithofacies and Paleogeography, 1996, 16(5): 38~46]
- 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 [Liu Benpei, Li Rufeng, You Dehong. Carboniferous sequence stratigraphy and glacio-eustasy of Triticites zone in southern Guizhou, China [J]. Earth science-Journal of China University of geosciences, 1994, 19(5): 553~564]
- 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[J]. 现代地质, 1998, 12(1): 1~16 [Wang Hongzhen, Shi Xiaoying. Hierarchy of depositional sequences and eustatic cycles—a discussion on the mechanism of sedimentary cycles [J]. Geoscience, 1998, 12(1): 1~16]
- 林春明, 黄志诚, 刘家润等. 安徽巢湖凤凰山剖面石炭系微相和层序地层特征[J]. 岩石学报, 2002, 18(3): 424~433 [Lin Chunming, Huang Zhicheng, Liu Jiarun, et al. Carboniferous microfacies and sequence stratigraphy of Fengshan mountain profile in Chaohu of Anhui Province, China [J]. Acta Petrologica Sinica 2002, 18(3): 424~433]
- Keith M L, Weber J N. Carbon and oxygen isotopic composition of selected limestones and fossils [J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1964,

- 18 :1 787 ~ 1 816
- 13 Veevers J J , Powell C McA. Late Paleozoic glacial episodes in Gondwanaland reflected in transgressive-regressive depositional sequence in Euramerica[J]. Geological Society of America Bulletin , 1987 , 98(4) : 475 ~ 487
- 14 钱奕中, 陈洪德, 刘文均. 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 ~ 220[Qian Yizhong , Chen Hongde , Liu Wenjun. Theories and methods of sequence stratigraphy[M]. Chengdu : Science and Technology Press , 1994. 1 ~ 220]
- 15 林春明, 凌洪飞, 王淑君等. 苏皖地区石炭纪海相碳酸盐岩碳和氧同位素演化规律[J]. 地球化学 , 2002 , 31(5) : 415 ~ 423[Lin Chunming , Ling Hongfei , Wang Shujun , *et al.* The evolution regularities of carbon and oxygen isotopes in Carboniferous marine carbonate rocks from Jiangsu and Anhui Provinces[J]. Geochimica , 2002 , 31(5) : 415 ~ 423]
- 16 殷鸿福, 童金南. 层序地层界面与年代地层界线的关系[J]. 科学通报 , 1995 , 40(6) : 539 ~ 544[Yan Hongfu and Tong Jinan. The relationship between sequence stratigraphic boundaries and chronostatigraphic lines[J]. Chinese Science Bulletin , 1995 , 40(6) : 539 ~ 541
- 17 林春明. 杭州湾地区 15 000 a 以来层序地层学初步研究[J]. 地质论评 , 1997 , 43(3) : 273 ~ 280[Lin Chunming. Sequence stratigraphic study on the Hangzhou Bay since 15 000 a B.P.[J]. Geological Review , 1997 43(3) : 273 ~ 280]
- 18 Goldhammer R K , Dunn P A , Hardie L A. Depositional cycles , composite sea-level changes , cycle stacking patterns of the hierarchy of stratigraphic forcing : examples from Alpine Triassic platform carbonates[J]. Geological Society of America Bulletin , 1990 , 102(5) : 535 ~ 562
- 19 李增学, 魏久传, 王明镇等. 华北南部晚古生代陆表海盆地层序地层格架与海平面变化[J]. 岩相古地理 , 1996 , 16(5) : 1 ~ 11[Li Zengxue , Wei Jiuchuan , Wang Mingzhen , *et al.* Sequence stratigraphic framework and sea-level changes in the Late Palaeozoic epicontinental basin in Northern China[J]. Lithofacies and Paleogeography , 1996 , 16(5) : 1 ~ 11]
- 20 贾进华, 刘焕杰, 郭海英, 鄂尔多斯盆地西缘晚石炭世沉积体系与高频层序旋回[J]. 沉积学报 , 1999 , 17(3) : 397 ~ 402[Jia Jinhua , Liu Huanjie , Guo Yinghai. Late Carboniferous depositional systems and high-resolution sequence cycles of the Western Ordos Basin[J]. Acta Sedimentologica Sinica , 1999 , 17(3) : 397 ~ 402]

Study on Outcrop Sequence Stratigraphy of the Carboniferous Strata in Anhui and Jiangsu Province ,China

LIN Chun-ming ZHANG Shun WANG Shu-jun LIU Jia-run LING Hong-fei
(Department of Earth Sciences , State Key Laboratory of Ore Genesis , Nanjing University , Nanjing 210093)

Abstract The Carboniferous system exposed from Anhui and Jiangsu provinces , has seven lithogenetic units. Based on outcrop sequence stratigraphic analysis with particular attention to the key surfaces or polyphase paleokarsts developed in the interruptions of sedimentation , nine types of lithofacies , twenty types of microfacies and eleven third-order sequences in the Carboniferous system are recognized.

The lower series of Carboniferous strata have six sequences , and the upper series have five. In the lower series of Carboniferous strata , Yanguan stage are composed of sequence 1 to 2 , and Datang stage from sequence 3 to 6. In the upper series , Weining stage are composed of sequence 7 to 8 , and Maping stage from sequence 9 to 11. According to the features of the bottom boundary surface , eleven third - order sequences are classified into two sorts of sequence , which are type I sequence and type II . The bottom boundary surface of type I sequence all have clear signs including the different thickness eluviums , the strong paleokarst , the strata discontinuity , the immense changes of sedimentary patterns and traits , the huge and sudden alternation of carbon and oxygen isotope values and the disappearance and abrupt changes of organism evolution. The third-order sequences of S2 , S3 , S5 , S6 , S7 and S11 belong to I-type of sedimentary sequence , and S1 , S4 , S8 , S9 and S10 II -type. The third-order sequences are absent at times.

The characteristics and genesis of each third-order sequences are described and discussed. The third-order sequences in various paleogeographic units and sedimentary environment can be correlated. Sea level change rate and amplitude corresponding to these third-order sequences are discussed.

Key words sequence stratigraphy , Carboniferous , Anhui and Jiangsu provinces