

文章编号:1000-0550(2014)04-0724-10

中扬子区晚印支期三级层序充填特征及沉积古地理格局^①

段凯波^{1,2} 谭云基¹ 霍荣² 陈留勤³ 王亚飞⁴ 郭荣涛²

(1.中化地质矿山总局化工地质调查总队 北京 100013;2.中国地质大学(北京)地球科学与资源学院 北京 100083;
3.东华理工大学地球科学学院 南昌 330013;4.中国科学院地质与地球物理研究所岩石圈演化国家重点实验室 北京 100029)

摘要 晚印支期是中扬子区结束海相沉积开始转向以河流湖泊为主的陆相沉积新格局的重要过渡时期。应用陆相层序地层学和沉积学的基本理论,在中扬子区各次级盆地建立若干基干剖面,采用分辨率较高的露头分析,进行三级层序划分、对比与沉积相分析及古地理恢复。发现中扬子区晚印支期陆相沉积体系最多可识别出3个三级层序,但地层不发育或剥蚀导致一般仅可识别出1~2个三级层序,西部地区三级层序数量总体多于东部地区。各三级层序主要为一套夹丰富煤线(层)与古植物残片的陆相碎屑沉积,全区岩相古地理总体由曲流河及其三角洲和残留湖泊、辫状河及其三角洲和残留湖泊两套沉积相组合构成,其中前者占主导。区内存在多沉降沉积中心,但荆当盆地与中扬子西缘地区为最主要的沉降沉积中心,沉降机制主要来自中扬子陆壳继承性向北俯冲的挠曲沉降与强烈的陆内挤压褶皱变形,秦岭—大别山碰撞带及中扬子陆内挤压变形形成的隆起为邻近的次级盆地沉积作用提供了物源。

关键词 晚印支期 中扬子区 三级层序 沉积相组合 岩相古地理

第一作者简介 段凯波 男 1983年出生 博士 沉积学 E-mail: duankaibo@sina.com

中图分类号 P539 **文献标识码** A

0 引言

中扬子区是我国南方大型多期叠合盆地。长期以来,扬子地台与秦岭—大别山造山带所组成的盆山体系的大陆动力学问题是地质学研究的热点与难点。特别是印支运动晚期,作为中国大陆地质演化的重要过渡阶段,其构造—沉积演化研究更为炙手可热,但认识上仍存在分歧。对于中扬子区沉积古地理演化,目前较为一致的看法是中扬子于南华纪形成陆核以后,经历了两大分异明显的沉积史,即震旦纪至中三叠世海相碳酸盐岩台地为主的沉积与晚三叠世以来的陆相河流湖泊沉积。因而,晚印支期(主要为晚三叠世/中三叠世末以后)是古特提斯洋壳俯冲结束、中扬子地块与华北板块完成拼合过程的重要地质演化时期,中扬子区沉积环境开始由海相沉积转向以河流—湖泊为主的陆相沉积新格局^[1-4]。

晚印支期作为中扬子区陆相沉积体系的开端时期,层序地层学方面已有过一些研究。习惯上将中扬子及其邻区上三叠统至中侏罗统所对应的沉积序列划归为相当于一级海平面旋回的“大层序”,其中上三叠统所对应的序列划归为1个二级海平面变化的“中层序”^[5]。但中扬子区更次级的层序地层单元划分与系统对比研究相对较少,因而晚印支期中扬子区

层序地层格架也难建立起来。三级层序作为层序地层学研究的基本层序单元^[6-8],其时间尺度与空间尺度的适宜性在沉积学理论研究与油气勘探指导方面具有重要的意义。

对晚印支期中扬子区三级层序地层充填序列的建立,本文以陆相层序地层学和沉积学的基本理论为指导,以层序地层等时性为目标,在中扬子区各次级盆地建立若干基干剖面,采用分辨率较高的露头层序地层分析^[9-12],进行三级层序的划分与对比。因陆相地层的沉积速率不稳定、多物源、沉积作用多样和复杂、相变快、相带窄、基准面的不确定性等特点决定陆相层序地层的研究不能完全套用起源于稳定被动大陆边缘沉积体系的经典层序地层模式^[13-15],须结合年代地层、岩石地层、生物地层等地层特征与区域构造作用背景,将三级层序界面识别以及层序单元沉积环境与相分析作为核心^[16],进而恢复岩相古地理格局^[17-19]。

1 地质背景

中扬子区位于秦岭—大别山造山带以南,江南碰撞带以北,东西界于郟庐断裂和齐岳山断裂之间。印支期是中国南方构造演化的重大变革时期,晚二叠世至早三叠世中扬子区开始大陆边缘演化阶段,除海相

^①中石化科技工程重点项目(编号:QZ-2005-06)与中国地质大调查项目(编号:1212011220803)联合资助
收稿日期:2013-05-27;收修改稿日期:2013-11-19

碳酸盐岩台地沉积外,还接受来自克拉通的陆相碎屑物沉积,形成海陆交互相。中三叠世末扬子板块与华北板块拼接,完成中国大陆南北拼合。

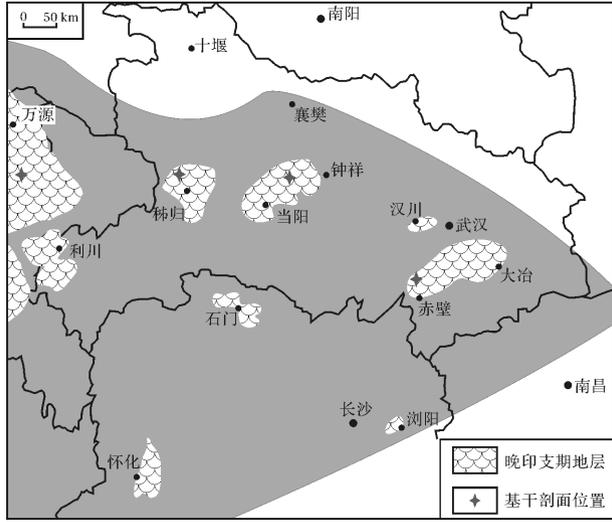


图1 中扬子区晚印支期沉积体系分布及基于剖面位置
Fig.1 Late Indosinian sedimentary system distribution of the middle Yangtze and fundamental sections location

晚印支期中扬子区结束一直以碳酸盐岩沉积为主的演化格局,过渡至陆相河流湖泊为主的新沉积体系,中扬子盆地继续向北俯冲,同时受到秦岭—大别山碰撞带与江南碰撞带的双向挤压,盆地开始进入了变形变位的改造阶段^[20]。在这种褶皱变形构造运动背景下,中扬子区总体表现为沉降,同时出现大隆起的古地理格局^[21,22]。晚印支期发育的地层在后期遭受一定程度的剥蚀,残留地层零散分布于该时期形成的次级拗陷(如,鄂东盆地、荆当盆地、利川盆地、秭归盆地、湘鄂西拗陷)中,而同期形成的隆起构造单元如钟祥隆起、开江隆起、黄陵隆起等以及秦岭—大别山造山带可能为次级盆地沉积作用提供了物源^[23]。

2 三级层序界面类型及识别

层序界面的识别是层序地层划分的关键。在野外露头中对层序界面的识别相对较为容易、直观与准确。通过分析,中扬子区晚印支期三级层序界面主要包括不整合面、侵蚀间断面、岩性岩相转换面、河流回春作用面、最大湖泛面和古土壤层面等^[24]。

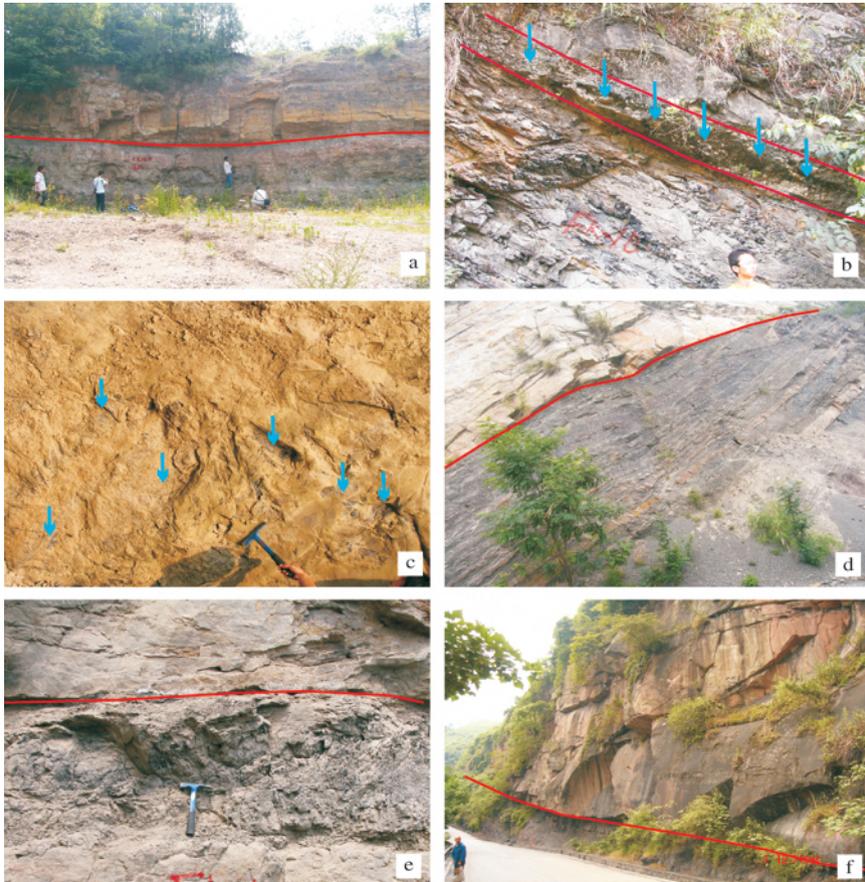


图2 野外露头中的各类三级层序界面

a.侵蚀间断面;b.含底砾石的侵蚀间断面;c.古土壤层面,含植物残片;d.岩性岩相转换面;e.最大湖泛面;f.河流回春作用面

Fig.2 Types of third-order sequence boundaries of outcrops in the field

3 三级层序充填序列特征

晚印支期中扬子区主要发育一套由河流、三角洲以及湖泊组成的沉积体系,沉积序列内常夹煤线或煤层,不同分区或不同序列又可进一步识别出不同沉积相或亚相类型。残存于各次级盆地的晚印支期地层由不同岩石地层单元组成,如鄂东盆地为鸡公山组,荆当盆地由九里岗组和王龙滩组组成,秭归盆地和利川盆地相当于沙镇溪组,中扬子西缘为须家河组,而中扬子区南部地区主要由二桥组和火把冲组组成。

各次级盆地因充填序列发育完整与缺失情况不同而划分出不同数量的三级层序,最多可识别出3个三级层序 ST₁、ST₂和 ST₃,大部分分区因地层剥蚀仅可识别出1~2个三级层序。

通过在中扬子西缘,秭归盆地、荆当盆地以及鄂东盆地建立的4条层序地层基干剖面来详细与全面

揭示中扬子区晚印支期三级层序地层格架。

3.1 中扬子西缘三级层序

中扬子西缘层序基干剖面建立于开江县回龙镇,该分区晚印支期沉积序列分布范围较广,厚度较大,达700 m左右,相当于上三叠统须家河组,但与建立于四川广元标准剖面的须家河组六段很难完全对应。通过对三级层序界面分析与识别,可将该剖面划分为3个三级层序 ST₁、ST₂和 ST₃。

ST₁相当于早、中诺利期的须家河组下部,底部以区域不整合面作为三级层序界面,顶部层序界面为岩性岩相转换面,层序厚度近200 m。层序主要由一套夹煤线的碳质粉砂岩与泥质细砂岩组成的旋回层,底部发育钙质泥岩,层序常见交错层理、平行层理、水平纹理及植物残片。代表曲流河河床亚相、曲流河三角洲平原亚相及滨浅湖亚相;ST₂顶部以岩性岩相转换面作为三级层序界面,作为ST₁之上的另一个三级层序

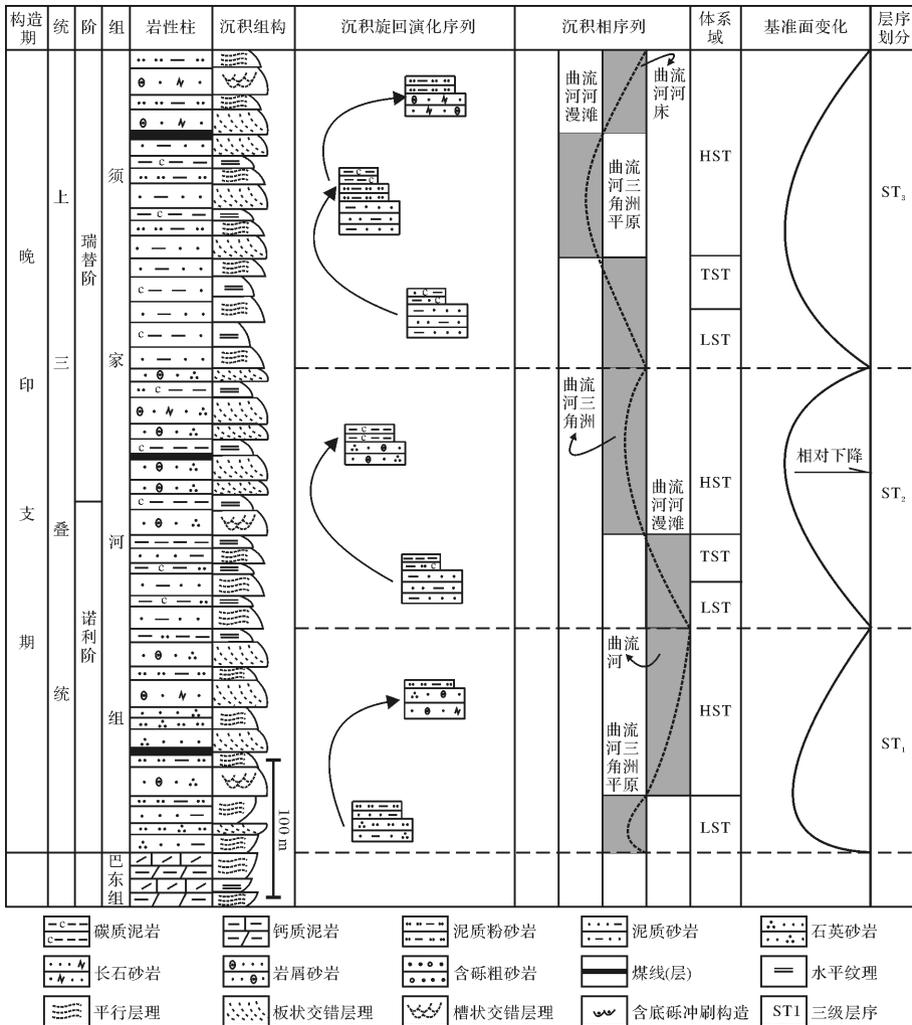


图3 中扬子西缘层序地层综合柱状图(图例适用于下文所有柱状图)

Fig.3 Sequence stratigraphic comprehensive column in the western middle Yangtze (the legend applied to all following columns)

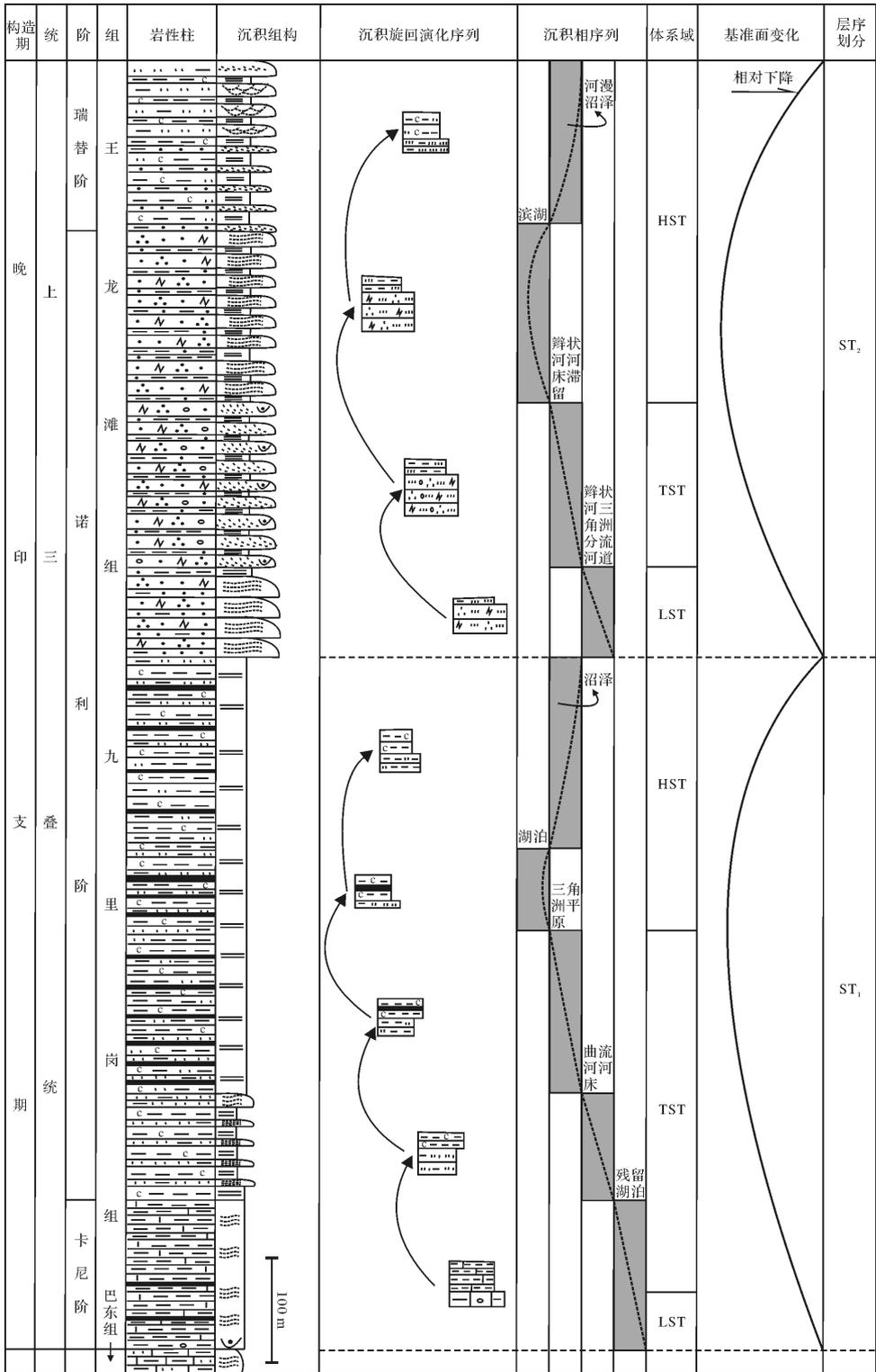


图4 荆当盆地层序地层综合柱状图

Fig.4 Sequence stratigraphic comprehensive column in Jingdang Basin

序旋回,层序内岩性岩相总体及厚度与 ST₁ 相似,但层序基本不发育钙质岩性,同样代表曲流河及其三角洲组成的沉积体系;ST₃ 顶部以侵蚀间断面作为层序

界面,相当于中、上瑞替阶,层序比 ST₂ 厚,近 300 m,岩性主要为一套泥质粉砂岩、中粗粒长石石英砂岩、含砾砂岩以及夹薄层煤线或煤层的泥页岩,与 ST₁、

ST₂相比,ST₃代表水动力条件更强的曲流河河床、曲流河三角洲分流河道沉积体系,也发育河漫滩、三角洲平原以及滨浅湖亚相。中扬子西缘分区在横向与纵向上总体发育较完整的层序充填序列,表明在晚印支期中扬子北缘俯冲与陆内变形的双重构造作用背景下,中扬子西缘主要受控于俯冲作用,总体以沉降为主,区内地势地貌差异相对较小,沉积作用总体较为稳定。可能也表明该区为晚印支期中扬子区最重要的沉降沉积中心之一。

3.2 荆当盆地层序地层

荆当盆地晚印支期地层保存较完整,三级层序地层基干剖面建立于荆门市海慧沟。该分区可识别出2个三级层序ST₁与ST₂,分别相当于上三叠统晚卡尼期—早中诺利期九里岗组与晚诺利期—早瑞替期王龙滩组,总厚度约1200 m。ST₃层序的缺失可能由于荆当盆地在晚印支期以后变形隆升而遭受剥蚀导致。

ST₁底部以冲刷侵蚀面和岩性岩相转换面所构成的区域不整合面与下伏中三叠统巴东组接触,同时也是ST₁底部的三级层序界面,层序厚约600 m。层序主要由一套夹煤线的碳质泥页岩、钙质泥质粉砂岩和泥质细砂岩所构成的旋回层。底部除了发育底砾石外,还充填钙质泥岩,表明晚印支期荆当盆地局部依然保存残留海相的碳酸盐岩沉积。三级层序内发育水平纹理、平行层理以及透镜层和透镜体等各种构造,以夹丰富煤线与古植物残体为显著特征,总体代表以残留湖泊、曲流河河漫滩、河床滞留、三角洲平原以及沼泽为主的较弱水动力条件沉积体系。其成因可能为中扬子盆地早期向北俯冲残留海盆逐渐转换为湖盆并继续旋回演化,反映整个荆当向斜在晚印支运动卡尼期为弱沉积作用,而早中诺利期则出现较快速的沉积作用。

ST₂底部以岩性岩相转换面与ST₁分界,主要为一套含砾和粗砂长石石英砂岩夹粉砂质泥岩,上部发育碳质泥岩,层序内含粗砂、细砾以及植物残片,常见板状与槽状交错层理以及冲刷构造。与ST₁对比,层序厚度大致相当,但岩性更为复杂多样,煤线(层)较少。ST₁岩性主体为一套夹丰富煤线的泥质沉积体系,代表了以悬移负载为主的水动力弱且洪泛沉积发育的曲流河及其三角洲与湖泊沉积相。而ST₂层序主要为一套碎屑颗粒粗大的强水动力底负载沉积体系,表明河道坡度更大,丰富的长石角砾成分说明搬运距离较短,上部碳质泥岩为三角洲或湖泊沉积相。因而,ST₂总体代表水动力较强的辫状河相及其三角

洲相与滨浅湖相,反映了晚诺利期与早瑞替期荆当盆地仍以较快速的沉降沉积作用为主以及后期较少的改造剥蚀。

3.3 秭归盆地层序地层

层序基干剖面建立于兴山县峡口镇。该区晚印支期可识别出1个三级层序ST₂,厚度520 m。缺失下部的ST₁与上部的ST₃层序,二者缺失的原因可能不一致,初步推测ST₁的缺失可能由于晚印支运动卡尼期在结束海相碳酸盐岩沉积后秭归盆地处于无物源供给的饥饿沉积作用引起,而ST₃则可能因后期盆地的隆升发生了剥蚀。

底部三级层序界面为与下伏巴东组碳酸盐岩台地相之间的区域不整合面,在该区也相当于最大湖泛面,顶部层序界面为发育侵蚀暴露砾石的河流回春作用面。该区ST₂相当于诺利期与早瑞替期的沙镇溪组上部(下部缺失),岩性主要由局部含煤线的泥页岩、砂质泥岩、石英砂岩与含砾粗砂岩组成,岩性岩相与荆当盆地ST₂有许多相似之处,代表水动力条件强的辫状河河床滞留与辫状河三角洲分流河道沉积,同时也发育三角洲平原与沼泽沉积。反映晚印支期中扬子北缘俯冲沉降与陆内挤压作用导致晚印支期秭归向斜沉积与侵蚀作用并存,古地势地貌控制了沉积相的类型与迁移特征,沉积作用总体不及荆当盆地强。

3.4 鄂东盆地层序地层

鄂东盆地晚印支期地层主要残留分布于赤壁至大冶一带,层序地层基干剖面建立于嘉鱼县舒桥镇。该区仅可识别出1个三级层序ST₃,厚度较小,大致相当于上三叠统瑞替阶的鸡公山组,沉积作用时限约5 Ma。ST₁与ST₂都发生缺失,推测两者的缺失都是因中扬子区东部在秦岭—大别山碰撞带与江南碰撞带的双向挤压变形褶皱作用下,鄂东盆地整体发生构造抬升而无沉积作用或地层剥蚀。

ST₃层序厚度近40 m,层序底部以区域不整合面作为层序界面与下伏中三叠统拉丁阶蒲圻组接触,顶部与上覆下侏罗统程潮组以不整合面作为层序界面。层序整体为一套夹煤线(层)的泥质粉砂岩和长石石英砂岩组成的韵律层,为一套曲流河沉积体系,底部发育含砾石的冲刷构造,代表水动力条件较强的曲流河河床滞留亚相沉积,层序内部常发育槽状交错层理和平行层理,主体为河床亚相与河漫滩亚相,沉积作用总体较为稳定。从大冶、赤壁和汉川一带露头层序分析来看,ST₃沿北北东方向具有较好的迁移和连续

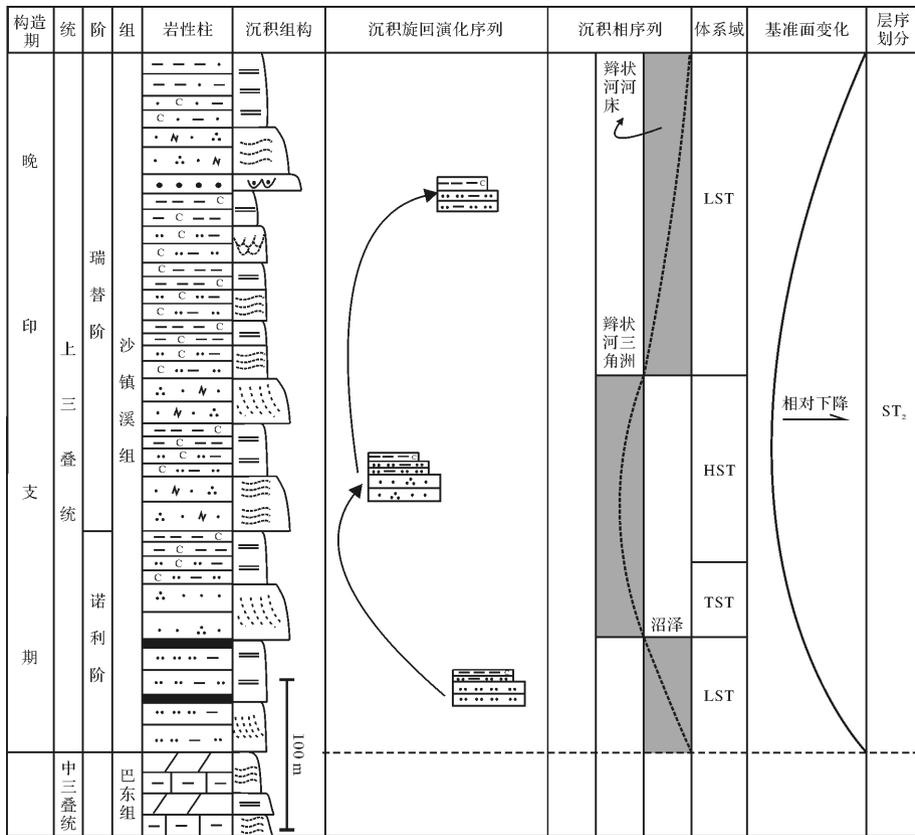


图5 秭归盆地层序地层综合柱状图

Fig.5 Sequence stratigraphic comprehensive column in Zigui Basin

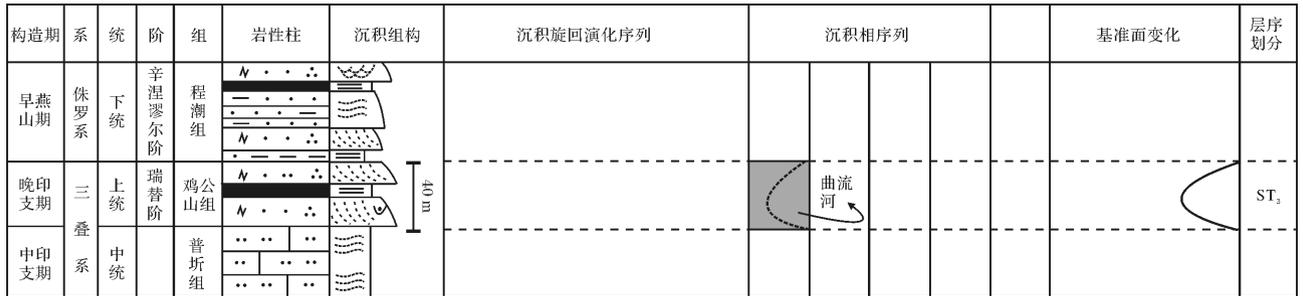


图6 鄂东盆地层序地层综合柱状图

Fig.6 Sequence stratigraphic comprehensive column in Edong Basin

性,表明晚印支期中扬子板块继续向北俯冲导致鄂东盆地兼有挠曲沉降作用与变形褶皱作用^[25],盆地略有沉降,兼有沉积与剥蚀作用,导致层序厚度较小,其物源可能来自邻近的秦岭—大别山造山带^[26,27]。

4 沉积古地理格局

在中扬子各分区建立基于剖面进行层序划分与沉积相分析,而后对整个中扬子区晚印支期沉积相分布与迁移规律开展系统研究。鄂东盆地晚印支期沉积体系仅由厚约40 m的ST₃组成,缺失ST₁与ST₂,较

薄的ST₃层序很难进一步识别出各亚相而笼统归为曲流河相。向西至荆当盆地晚印支期地层厚达1 200 m,划分为2个三级层序ST₁和ST₂,两个层序厚度相当但沉积相却迥异,ST₁为一套夹丰富煤线的曲流河及其三角洲沉积相组合,并且底部发育由先期海相残留转变的由含钙质泥页岩组成的残留湖泊相,总体显示水动力条件较弱的沉积体系,而ST₂代表由水动力条件较强的辫状河及其三角洲与湖泊相,对两层序岩性与沉积组构分析,可进一步识别出各亚相。至秭归盆地,虽然仅可识别出一个三级层序ST₂,但厚度及

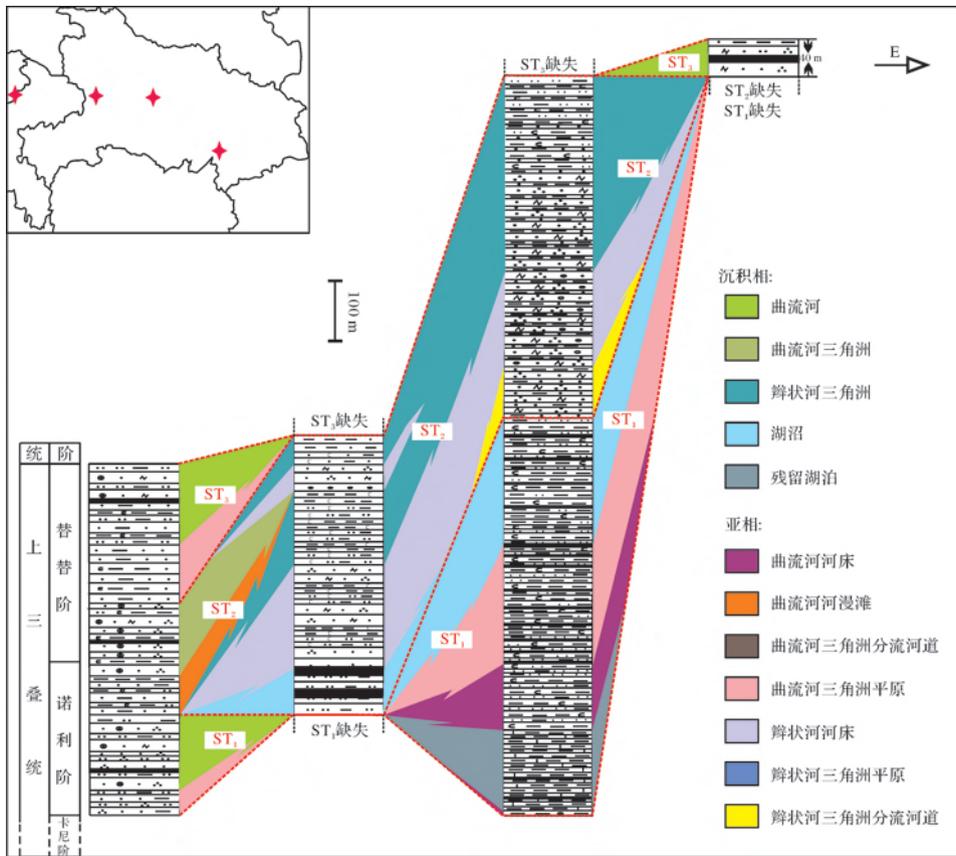


图 7 晚印支期中扬子区沉积相迁移规律

Fig.7 Sedimentary facies migration feature of middle Yangtze in Late Indosinian

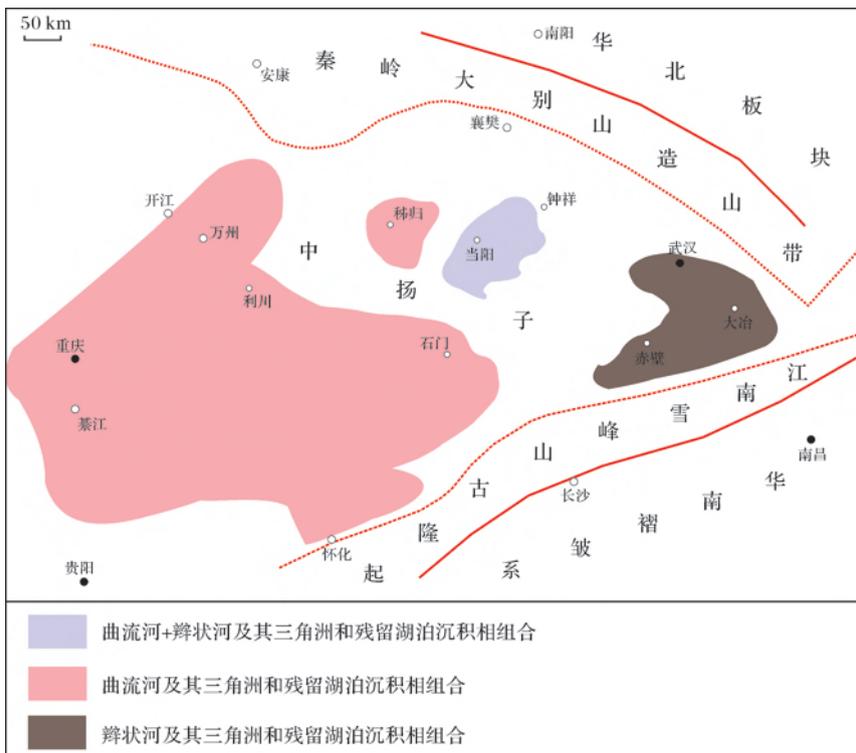


图 8 晚印支期中扬子区岩相古地理

Fig.8 Lithofacies palaeogeography of middle Yangtze in Late Indosinian

沉积相都与荆当盆地 ST₂ 对应较好,也代表一套由辫状河及其三角洲与湖泊组成的沉积体系,继续向西,辫状河相及辫状河三角洲相逐渐尖灭,至中扬子西缘,代表水动力条件较弱的曲流河及其三角洲沉积相又开始发育,对沉积相旋回及层序界面的分析,将该区沉积体系划分为3个三级层序。

因而,从三级层序划分来看,中扬子区晚印支期沉积体系最多可识别出3个三级层序,但陆相沉积作用的不稳定性以及晚印支期以后中扬子板块强烈的陆内挤压变形等诸多因素,导致地层缺失或不发育而一般仅可识别出1~2个三级层序,整体而言,西部地区发育的三级层序数量多于东部地区。

系统地对各三级层序相分析及对比,发现晚印支期中扬子区各层序常夹煤线(层)或古植物残片,相当于一“煤盆”。但在空间与时间上大体代表着两套沉积相组合:即曲流河及其三角洲和残留湖泊沉积相组合与辫状河及其三角洲和残留湖泊沉积相组合,并且前者占主导,主要分布于中扬子西部地区与秭归盆地,后者在鄂东地区较为发育,两者在荆当盆地纵向叠置。

5 结论

(1) 中扬子区晚印支期陆相沉积体系最多可识别出3个三级层序,但地层不发育或晚印支期以来地层剥蚀导致一般仅可识别出1~2个三级层序,鄂东盆地、荆当盆地、秭归盆地及西缘分别可划分为1个、2个、1个与3个三级层序,西部地区划分的三级层序数量多于东部地区。

(2) 晚印支期各三级层序主要由一套夹丰富煤线(层)古植物残片的陆相碎屑岩组成,对沉积相迁移与充填规律进行系统分析和对比,发现总体代表两套沉积相组合:即曲流河及其三角洲和残留湖泊沉积相组合与辫状河及其三角洲和残留湖泊沉积相组合。前者占主导,主要分布于中扬子西部地区与秭归盆地,后者在鄂东地区较为发育,两者在荆当盆地纵向叠置,这一特征基本反映了中扬子区晚印支期岩相古地理格局。

(3) 晚印支期中扬子区具有稳定和统一的沉积古地理背景,沉降沉积作用显著。沉降机制主要来自中扬子陆壳继承性向北俯冲的挠曲沉降与强烈的陆内挤压褶皱变形,后者还导致整个中扬子区出现多沉降沉积中心,但中扬子区荆当盆地与西缘地区可能为最重要的沉降沉积中心,初步判断中扬子晚印支期可

能具有东高西低的地势。另外,秦岭—大别山碰撞带及中扬子陆内挤压变形形成的隆起可能为邻近的次级盆地沉积作用提供了物源。

参考文献 (References)

- Zhao X, Coe R S. Palaeomagnetic constraints on the collision and rotation of North and South China[J]. *Nature*, 1987, 327: 141-144
- 张国伟,董云鹏,赖绍聪,等. 秦岭—大别造山带南缘勉略构造带与勉略缝合带[J]. *中国科学(D辑):地球科学*, 2003, 33(12): 1121-1135 [Zhang Guowei, Dong Yunpeng, Lai Shaocong, et al. Mianlüe tectonic zone and Mianlüe suture zone on southern margin of Qinling-Dabie orogenic belt[J]. *Science China (Seri. D): Earth Sciences*, 2003, 33(12): 1121-1135]
- 王清晨,蔡立国. 中国南方显生宙大地构造演化简史[J]. *地质学报*, 2007, 81(8): 1025-1040 [Wang Qingchen, Cai Ligu. Phanerozoic tectonic evolution of South China[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2007, 81(8): 1025-1040]
- 刘新民,付宜兴,郭战峰,等. 中扬子区南华纪以来盆地演化与油气响应特征[J]. *石油实验地质*, 2009, 31(2): 160-165 [Liu Xinmin, Fu Yixing, Guo Zhanfeng, et al. Characteristics of basin evolution and hydrocarbon response in middle Yangtze region since Nanhua Period[J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2009, 31(2): 160-165]
- 戴少武. 中扬子及邻区层序地层与原型盆地演化[J]. *石油与天然气地质*, 2002, 23(3): 229-235 [Dai Shaowu. Stratigraphic sequences in the middle Yangtze and adjacent region and evolution of prototype basins[J]. *Oil & Gas Geology*, 2002, 23(3): 229-235]
- Vail P R, Audemard F, Bowman S A. The stratigraphic signatures of tectonics, eustasy and sedimentology—an overview [C]//Einsle G, Riche W, Seilacher A. *Cycles and events in stratigraphy*. Berlin: Springer-Verlag, 1991: 617-659
- Keith W, Shanley K W, Peter J. Perspectives on the sequence stratigraphy of continental strata[J]. *AAPG Bulletin*, 1994, 78(4): 544-568
- 崔永刚,樊涛,孙昶旭,等. 构造对三级层序的控制作用[J]. *地层学杂志*, 2007, 31(2): 179-183 [Cui Yonggang, Fan Tao, Sun Changxu, et al. Tectonic controls on third-order sequences[J]. *Journal of Stratigraphy*, 2007, 31(2): 179-183]
- Van Wagoner J C, Mitchum H M, Campion K M. Siliciclastic sequence stratigraphy in well logs, cores and outcrops: concepts for high-resolution correlation of time and facies[J]. *AAPG Methods in Exploration Series*, 1990, 7: 1-5
- 邓宏文. 美国层序地层研究中的新学派——高分辨率层序地层学[J]. *石油与天然气地质*, 1995, 16(2): 89-97 [Deng Hongwen. A new school of thought in sequence stratigraphic studies in U.S.: High-resolution sequence stratigraphy[J]. *Oil & Gas Geology*, 1995, 16(2): 89-97]
- 郑荣才,尹世民,彭军,等. 基准面旋回结构与叠加样式的沉积动力学分析[J]. *沉积学报*, 2000, 18(3): 329-375 [Zheng Rongcai, Yin Shimin, Peng Jun, et al. Sedimentary dynamic analysis of sequence structure and stacking pattern of base-level cycle[J]. *Acta*

- Sedimentology Sinica, 2000, 18(3): 329-375]
- 12 郑荣才,彭军,吴朝容. 陆相盆地基准面旋回的级次划分和研究意义[J]. 沉积学报, 2001, 19(2): 249-255 [Zheng Rongcai, Peng Jun, Wu Chaorong. Grade division of base-level cycles of terrigenous basin and its implications[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2001, 19(2): 249-255]
 - 13 倪新锋,陈洪德,田景春,等. 陆相层序地层学理论体系及其发展趋势[J]. 沉积与特提斯地质, 2002, 22(4): 35-43 [Ni Xinfeng, Chen Hongde, Tian Jingchun, et al. Continental sequence stratigraphy: theoretical systems and development trend[J]. Sedimentary Geology and Tethyan Geology, 2002, 22(4): 35-43]
 - 14 顾家裕,张兴阳. 陆相层序地层学进展与在油气勘探开发中的应用[J]. 石油与天然气地质, 2004, 25(5): 484-490 [Gu Jiayu, Zhang Xinyang. Progress in continental sequence stratigraphy and its application in petroleum exploration and development[J]. Oil & Gas Geology, 2004, 25(5): 484-490]
 - 15 徐强,姜焯,董伟良,等. 中国层序地层研究现状和发展方向[J]. 沉积学报, 2003, 21(1): 155-167 [Xu Qiang, Jiang Ye, Dong Weiliang, et al. Research status and development direction of sequence stratigraphy in China [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2003, 21(1): 155-167]
 - 16 Miall A D. The Geology of Fluvial Deposits[M]. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 1996: 1-524
 - 17 解习农,李思田. 陆相盆地层序地层学研究特点[J]. 地质科技情报, 1993, 12(1): 22-26 [Xie Xinong, Li Sitian. Characteristics of sequence stratigraphic analysis in terrestrial basin [J]. Geological Science and Technology Information, 1993, 12(1): 22-26]
 - 18 梅冥相,马永生,邓军,等. 滇黔桂盆地及邻区二叠系乐平统层序地层格架及其古地理背景[J]. 中国科学(D辑): 地球科学, 2007, 37(5): 605-617 [Mei Mingxiang, Ma Yongsheng, Deng Jun, et al. Sequence-stratigraphic frameworks and their palaeogeographic patterns for the Permian Lopingian of the Dianqiangui Basin and its adjacent areas of southwestern China[J]. Science China(Seri. D): Earth Sciences, 2007, 537(5): 605-617]
 - 19 段凯波,熊先孝,霍荣,等. 中扬子中侏罗统陆相高分辨率层序地层格架及构造控制[J]. 地质与勘探, 2012, 48(2): 406-414 [Duan Kaibo, Xiong Xianxiao, Huo Rong, et al. The continental sequence stratigraphic framework and its tectonic causes of the Middle Jurassic in the middle Yangtze[J]. Geology and Exploration, 2012, 48(2): 406-414]
 - 20 徐政语,林舸. 中扬子地区显生宙构造演化及其对油气系统的影响[J]. 大地构造与成矿学, 2001, 25(1): 1-8 [Xu Zhengyu, Lin Ge. Phanerozoic tectonic evolution and its influence on the petroleum system in the middle Yangtze region [J]. Geotectonica et Metallogenia, 2001, 25(1): 1-8]
 - 21 吴冲龙,杜远生,梅廉夫,等. 中国南方印支—燕山期复合盆山体系与盆地原型改造[J]. 石油与天然地质, 2006, 27(3): 305-315 [Wu Chonglong, Du Yuansheng, Mei Lianfu, et al. Composite basin-and-range system and reformation of basin prototype in Indosinian-Yanshanian in South China [J]. Oil & Gas Geology, 2006, 27(3): 305-315]
 - 22 刘树根,罗志立. 从华南板块构造演化探讨中国南方油气藏分布的规律性[J]. 石油学报, 2001, 22(4): 24-31 [Liu Shugen, Luo Zhili. Study on the distribution characteristics of petroleum deposits from the plate tectonic evolution in South China [J]. Acta Petrolei Sinica, 2001, 22(4): 24-31]
 - 23 付宜兴,张萍,李志祥,等. 中扬子区构造特征及勘探方向建议[J]. 大地构造与成矿学, 2007, 31(3): 308-314 [Fu Yixing, Zhang Ping, Li Zhixiang, et al. The tectonic characteristics and their significance for hydrocarbon exploration in Mid-Yangtze area [J]. Geotectonica et Metallogenia, 2007, 31(3): 308-314]
 - 24 陈留勤,段凯波,霍荣,等. 晚三叠世中扬子北缘前陆盆地层序地层特征及沉积演化[J]. 高校地质学报, 2009, 15(3): 328-338 [Chen Liuqin, Duan Kaibo, Huo Rong, et al. Late Triassic sequence stratigraphy and sedimentary evolution of the northern Mid-Yangtze foreland basin [J]. Geological Journal of China Universities, 2009, 15(3): 328-338]
 - 25 刘少峰,张国伟,程顺有,等. 东秦岭—大别山及邻区挠曲类盆地演化与碰撞造山过程[J]. 地质科学, 1999, 34(3): 336-346 [Liu Shaofeng, Zhang Guowei, Cheng Shunyou, et al. Evolution of flexural basins and process of collision orogeny in east Qingling-Dabie Shan and its adjacent regions [J]. Scientia Geologica Sinica, 1999, 34(3): 336-346]
 - 26 刘云生,郭战峰,梁西文,等. 中上扬子地区晚三叠世—侏罗纪砂岩构造意义及盆地耦合关系[J]. 石油实验地质, 2006, 28(3): 201-204 [Liu Yunsheng, Guo Zhanfeng, Liang Xiwen, et al. Tectonic significance of sandstone and coupling relation of basin and mountain in the Late Triassic-Jurassic in the Middle and upper Yangtze region [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2006, 28(3): 201-204]
 - 27 段凯波,陈留勤. 鄂东地区中侏罗统陆相层序地层及其主控因素[J]. 大庆石油学院学报, 2011, 35(1): 15-20 [Duan Kaibo, Chen Liuqin. The sequence stratigraphy and its main controlling factors of the Middle Jurassic in Edong area [J]. Journal of Daqing Petroleum Institute, 2011, 35(1): 15-20]

Third-order Sequence Filling Feature and Sedimentary Palaeogeography in Late Indosinian for the Middle Yangtze

DUAN Kai-bo^{1,2} TAN Yun-ji¹ HUO Rong² Chen Liu-qin³ WANG Ya-fei⁴ GUO Rong-tao²

(1. General Institute of Chemical Geology Survey, China Chemical Geology and Mine Bureau, Beijing 100013;

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

3. College of Earth Sciences, East China Institute of Technology, Nanchang 330013;

4. State Key Laboratory of Lithospheric Evolution, Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029)

Abstract: Late Indosinian is the key transition period in which the middle Yangtze area shifted to the new sedimentary pattern from marine sedimentary environment to continental sedimentation of rivers and lakes. On the basis of information from fundamental stratigraphic sections established in sub-basins in the middle Yangtze, the third-order sequence division and correlation, sedimentary facies analysis and lithofacies palaeogeography recovery were studied through high-resolution outcrop analysis on the guidance of basic theories of continental sequence stratigraphy and sedimentology. It shows that late Indosinian continental sedimentary system in the middle Yangtze is divided into 3 third-order sequences at most but generally 1~2 third-order sequences can be identified only as a result of strata undevelopment or erosion. There are 3, 2, 1 and 1 third-order sequences in the western margin of middle Yangtze, Jingdang Basin, Zigui Basin and Edong Basin, respectively. In contrast, the quantity of sequences in the west area is more than that in the east area. Sedimentary facies analysis indicates that all third-order sequences are characterized by continental clastic sediments which are rich in coal and palaeobotanic fragments, and also shows that the lithofacies paleogeography in the middle Yangtze area is totally made up of 2 types of sedimentary facies sets which are meandering river-delta-residue lake facies set and braided river-delta-residue lake set, and the former which mainly distributes in the west of middle Yangtze and Zigui Basin is dominant, while the latter develops in Edong Basin comparatively. It's also concluded from study results that the middle Yangtze has a couple of subsidence and sedimentation centers in late Indosinian, and the ones in Jingdang Basin and the western margin of middle Yangtze are most important. The subsidence mechanism is the middle Yangtze crust northward subduction which results in flexural subsidence and intense extrusion deformation. The provenance is probably provided for sub-basins by Qingling-dabie collision and adjacent uplift created by deformation.

Key words: Late Indosinian; middle Yangtze; third-order sequence; sedimentary facies set; lithofacies paleogeography