

doi:10.3799/dqkx.2014.092

下扬子中生代沉积盆地演化

张宗言^{1,2}, 何卫红^{1,3*}, 韦 一¹, 柯 学², 骆满生³

1. 中国地质大学地球科学学院, 湖北武汉 430074
2. 南京地质矿产研究所, 江苏南京 210016
3. 中国地质大学生物地质与环境地质国家重点实验室, 湖北武汉 430074

摘要: 通过对下扬子地区各地层分区中生代岩石地层序列、沉积建造详细分析以及生物地层与年代地层划分对比, 在盆地原型恢复、盆地充填序列和岩相古地理综合分析的基础上, 划分出下扬子陆块中生代不同时段 5 类沉积盆地: 陆表海(T_{1-2})、周缘前陆盆地(T_3-J_1)、压陷盆地(T_3-J_2)、断陷盆地(J_3-K)和拉分盆地(J_3-K), 初步建立了下扬子陆块中生代沉积盆地时空分布格架, 分析了下扬子中生代盆地沉积大地构造环境演化历程: 三叠纪—早侏罗世为与特提斯海演化相关的构造阶段, 分为早三叠世—中三叠世陆表海和晚三叠世—早侏罗世前陆盆地 2 个亚阶段; 中侏罗世—白垩纪转化为滨太平洋构造阶段, 中侏罗世以挤压构造背景为主, 大部分地区为隆升剥蚀区, 晚侏罗世—白垩纪为强裂伸展拉张期, 发育了一系列北东向火山—沉积断陷盆地和拉分盆地, 盆—岭构造格局形成。

关键词: 下扬子; 中生代; 沉积; 构造; 盆地演化。

中图分类号: P531 **文章编号:** 1000—2383(2014)08—1017—18 **收稿日期:** 2014—03—12

Evolution of Mesozoic Sedimentary Basins in the Lower Yangtze

Zhang Zongyan^{1,2}, He Weihong^{1,3*}, Wei Yi¹, Ke Xue², Luo Mansheng³

1. Faculty of Earth Sciences, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China
2. Nanjing Institute of Geology and Mineral Resources, Nanjing 210016, China
3. State Key Laboratory of Biogeology and Environmental Geology, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

Abstract: The Lower Yangtze continent formed during Mesozoic is divided into 5 types of sedimentary basin with different time frames, namely, epeiric sea (T_{1-2}), peripheral foreland basin (T_3-J_1), pressurized basin (T_3-J_2), fault-depression basin (J_3-K), and pull apart basin (J_3-K) in this paper based on the study of lithostratigraphy, sedimentary formation, biostratigraphic and chronostratigraphic correlation, prototype basin, basin filling sequences, and comprehensive lithofacies paleogeographic analysis of the study area in addition. The space distribution framework of Mesozoic Lower Yangtze continental sedimentary basin is established, and the tectonic environment evolution is discussed. It is found that the Triassic-Early Jurassic tectonic phase is related to the evolution of Tethys Sea, which can be divided into two sub-phases of Early-Middle Triassic epeiric sea and Late Triassic foreland basin. The Jurassic-Cretaceous phase transformed to Peri-Pacific tectonic domain can be divided into two sub-phases. Early-Middle Jurassic dominated by compressive tectonic background mainly developed the uplift and erosion areas, whereas Late Jurassic-Cretaceous characterized by an extensional tectonic environment developed a series of NE volcanic-sedimentary fault-depression basin and pull apart basin, which in turn formed basin-range tectonic framework.

Key words: Lower Yangtze; Mesozoic; sedimentology; tectonics; basin evolution.

下扬子陆块(图 1)位于连云港—黄梅断裂和团风—麻城断裂以东, 东至一周王—湖州—苏州—昆山断裂以北, 长乐—南澳断裂带及其延伸带以西, 范

围包括陆上的江苏—皖南地区和海域中的南黄海盆地(叶舟等, 2006). 下扬子陆块中生代地层发育齐全、沉积类型多样, 是地质学研究的热点区域, 有着

基金项目: 中国地质调查局项目 (Nos. 1212010733802, 12120113012500).
作者简介: 张宗言 (1985—), 男, 助理研究员, 硕士, 从事古生物地层、沉积学和区域地质调查工作. E-mail: conodonts@163.com
*** 通讯作者:** 何卫红, E-mail: whzhang@cug.edu.cn

良好的年代地层、生物地层以及沉积相研究的基础(马武平,1997;闫吉柱等,1999;程日辉等,2004;舒良树等,2004).下扬子陆块在中生代完成了由特提斯构造域向滨太平洋构造域的转换.两类构造域铸就了各自不同的沉积盆地类型和沉积充填序列.

前人对下扬子区中生代沉积盆地类型与构造演化研究的主要进展是:通过对下扬子三叠纪岩相古地理研究,划分出 2 个沉积演化阶段:海相稳定沉积阶段(早—中三叠世)和推覆运动—沉积阶段(晚三叠世)(程日辉等,2004).张旗等(2013)在中国三叠纪古地势论述一文中,将下扬子分为早期的浅海台地和晚期的平原—丘陵.闫吉柱等(1999)通过地震剖面、钻井及地表资料揭示,约在晚三叠世—中侏罗世期间,下扬子发育了中部对冲周缘前陆盆地和南部单冲前陆盆地,晚白垩世为“断—坳”式盆地.舒良树和周新民(2002)认为,中国东南部(含下扬子)在早、中侏罗世经历了一次从 E-W 向古亚洲构造域向 NE 向西太平洋构造域的体制转换,并在下扬子区划分出类前陆盆地(晚三叠世—早侏罗世)和断陷盆地(晚侏罗世—白垩纪)(舒良树等,2004).宋传中等(2010)从构造体制转换的角度论述了长江中下游及

其邻区中生代以来经历了特提斯、古亚洲和太平洋三大构造体制复杂的转换过程.尚彦军等(1999)通过研究盆地沉积构造特征,将下扬子区侏罗纪—早白垩世分为两个阶段,即前期以碎屑沉积为主的早期阶段(J_{1-2})和后期以强烈岩浆活动为特征的晚期阶段(J_3-K_1).朱光等(2000)指出中生代时期,下扬子区沿江前陆盆地形成于扬子与华北板块碰撞活动中的前陆变形带上;火山岩盆地出现于区域性走滑剪切和环太平洋岩浆弧背景下.上述研究进展中,均对下扬子区中生代沉积盆地类型和构造演化阶段进行了划分,但划分较笼统,划分方案不一致.本文拟按早—中三叠世、晚三叠世—中侏罗世、晚侏罗世—白垩纪 3 个时间段,通过对下扬子中生代区域地质调查资料、古生物地层学、沉积学等方面资料的系统集成研究,试图较系统地进行原型盆地类型划分,并讨论下扬子区中生代沉积盆地演化及其大地构造背景.

1 岩石地层序列与沉积建造

本文借鉴潘桂堂等(2009)对全国大地构造单元划分的思想与方案,以大地构造控盆(地)、盆(地)控地层序列的理念(Dickinson *et al.*, 1974),将下扬子区分为咸宁—安庆—南京、九华山—无锡—南通、都昌—冬至和长沙—南昌、婺源—黄山、怀玉山—天目山 6 个地层分区(图 1,2).

为了从地层、岩性和岩相的角度分析下扬子区盆地类型及其演化规律,下文列举了 13 条剖面.以下按早—中三叠世、晚三叠世—中侏罗世、晚侏罗世—白垩纪 3 个阶段论述下扬子区 6 个地层分区(图 1)的岩石地层序列、沉积建造和生物群特征.

1.1 早—中三叠世

下扬子区早—中三叠世沉积分布在咸宁—安庆—南京、九华山—无锡—南通、都昌—冬至和长沙—南昌 4 个分区内,在婺源—黄山和怀玉山—天目山 2 个地层分区内未出露(图 1,3).

1.1.1 咸宁—安庆—南京分区 该区的早—中三叠世地层分布于湖北东南部、安徽中南部和江苏南京地区.从老到新主要发育两套岩石组合,详见图 3.以南京地区地层剖面(图 4)为例,下三叠统下青龙组为钙质泥岩夹泥灰岩和灰岩,向上灰岩夹层逐渐增多,构成退积—进积序列.区域上下三叠统下部在安徽东部一带从下向上为殷坑组与和龙山组(图 4),在安徽西部、湖北和湖南北部一带为大冶组.下

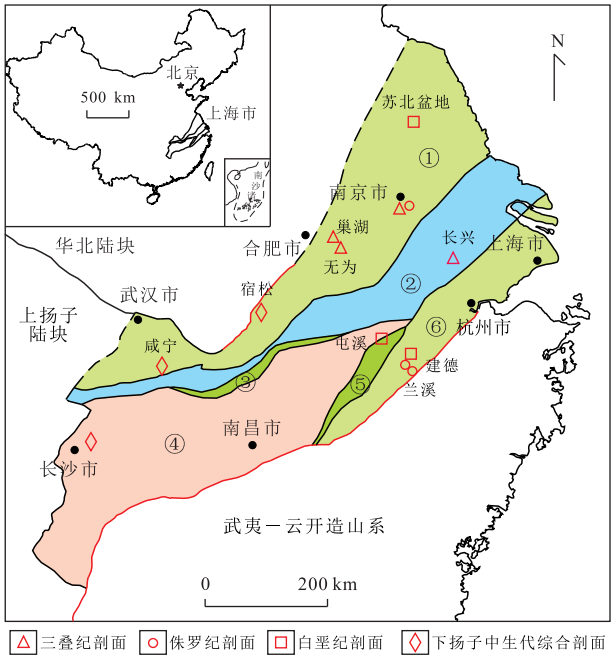


图 1 下扬子区地层分区
Fig.1 Distribution of the stratigraphic realms of the Lower Yangtze

下扬子陆块:①咸宁—安庆—南京分区;②九华山—无锡—南通分区;③都昌—冬至分区;④长沙—南昌分区;⑤婺源—黄山分区;⑥怀玉山—天目山地层分区;据潘桂堂等(2009)修改

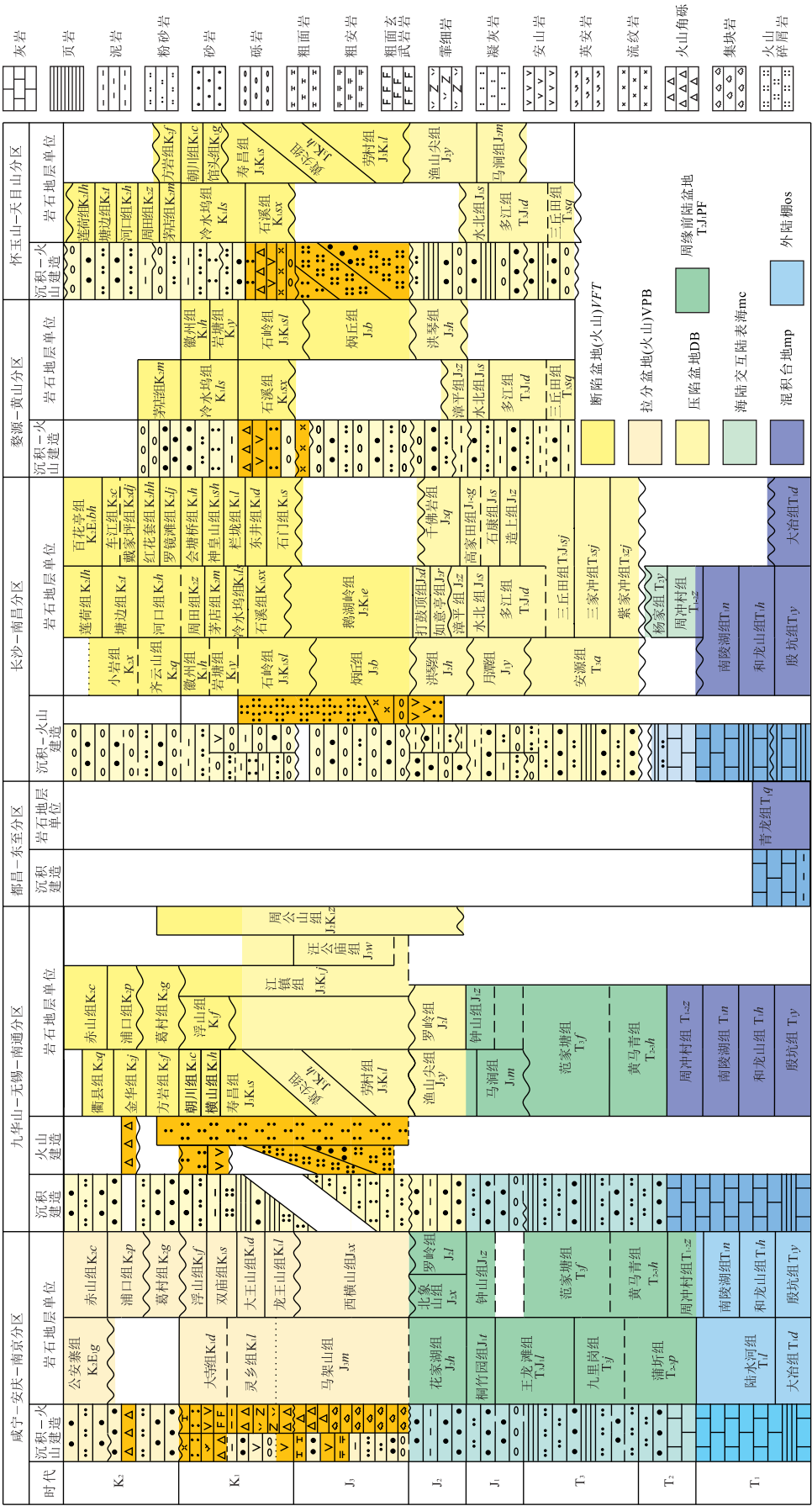
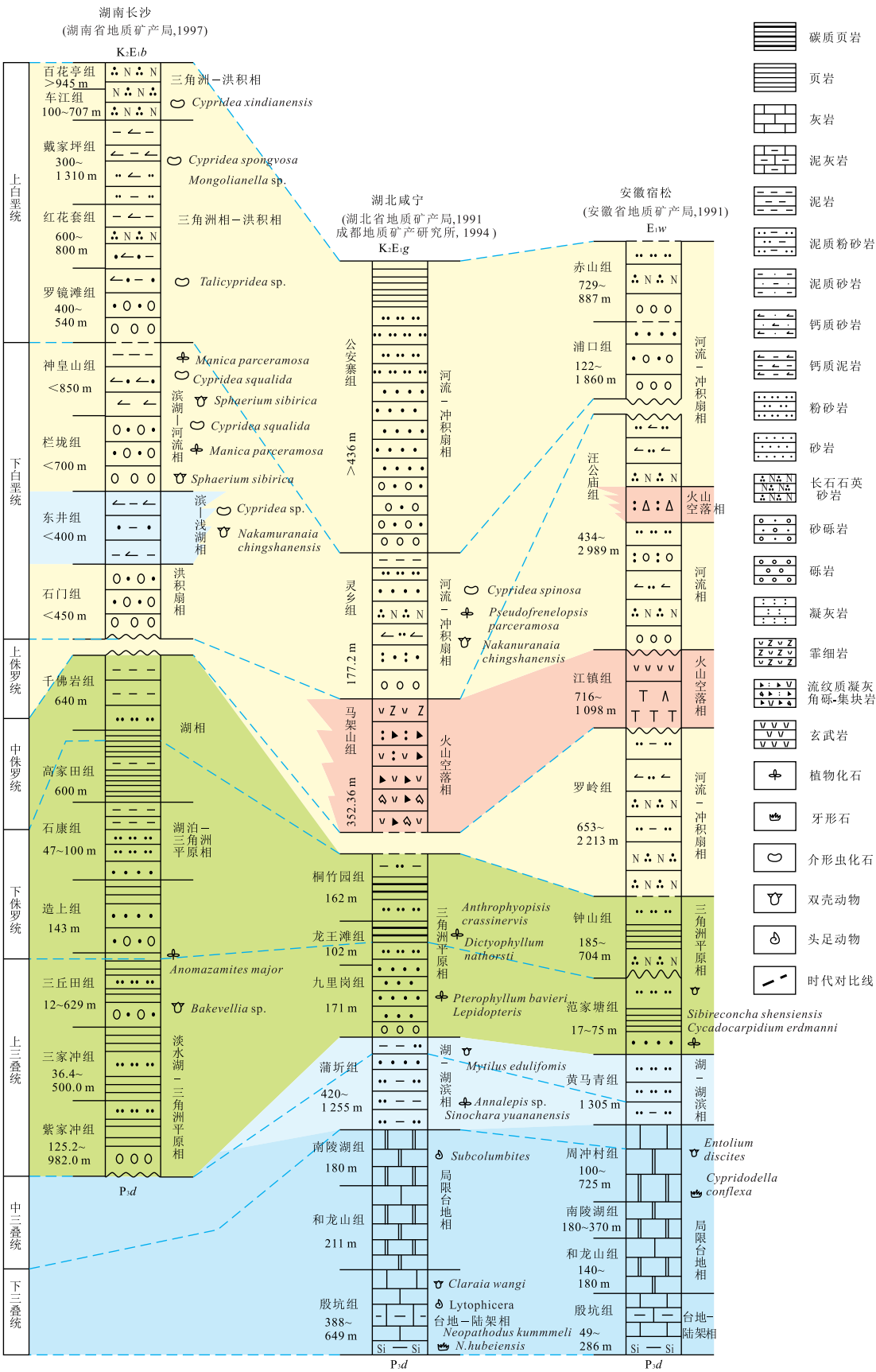


图2 下扬子陆块中生代地层格架

Fig. 2 Mesozoic stratigraphic framework in Lower Yangtze continental block



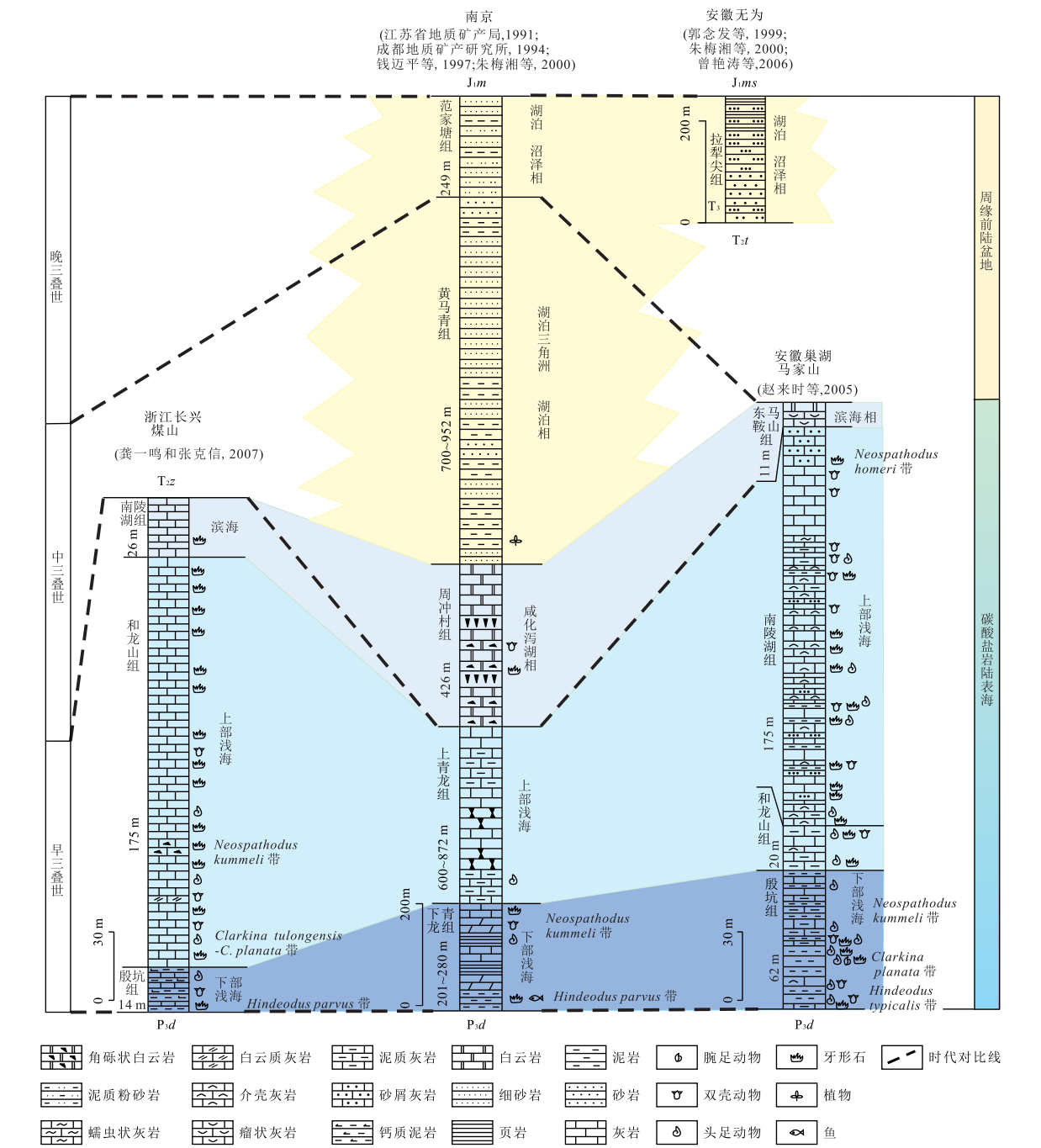


图 4 下扬子区东部三叠系对比与沉积相和沉积盆地演化

Fig.4 The stratigraphic correlation and the evolution of the sedimentary facies and basins of Triassic in the eastern Lower Yangtze

三叠统从南向北有如下变化(图 4):(1)下部或底部的页岩由不发育到发育;(2)上部或顶部的鲕状灰岩由发育到不发育;(3)厚度由小增大.上述变化反映区域上海水深度大致南浅北深,反映海底古地形南高北低的特点.下三叠统以含菊石、双壳类、牙形石等为主,其下部富含菊石,以 *Ophiceras* 和 *Lytophicera* 为主,双壳类有 *Claraia wangi* 等,牙形石

有 *Hindeodus parvus* 等,均为殷坑阶的标准化石,其时代为早三叠世早期;上部主要以产双壳类 *Eumorphotis multiformis* 和牙形石 *Neospathodus kummeli*、*N. hubeiensis* 等为特点(陈公信等,1996;赵来时等,2005).下三叠统上部为灰岩—钙质泥岩—细砂岩的组合.上青龙组富产菊石、双壳类、有孔虫、牙形石及遗迹化石等.可见菊石 *Owenites*

带(下)、*Anasibirites* 带(上),为巢湖阶标准带化石,其时代为早三叠世晚期(汪啸风等,2005)。南陵湖组(图4)为灰岩;底部发育有瘤状灰岩。生物群以巢湖阶典型菊石分子 *Subcolumbites* 等(龚一鸣和张克信,2007)及有孔虫、双壳类为主,牙形石较多(李玉发等,1997)。盆地西部出露陆水河组(图2),产双壳类 *Entoliumdiscites* 等、肢介 *Euestheria hu-beiensis* 和植物 *Annalepis* sp.,为铜川阶标石之一,其时代为中三叠世晚期(汪啸风等,2005),表明在 T_1 时期,盆地整体为水深较浅的陆棚环境,古水深呈南浅北深的格局。

中三叠统主要以砾屑灰岩—粉砂质页岩及细砂岩建造为主,间夹碳质页岩(图3)。周冲组整体为一套底部为砾屑灰岩向上变细为泥晶灰岩的沉积建造,上部夹粉砂质泥岩,顶部夹白云岩、白云质灰岩;底部产双壳类 *Entolium discites* 为巢湖阶标准带化石(龚一鸣和张克信,2007),所以本组底部为早三叠晚期的产物,另外产牙形石 *Cypridodella conflexa* 及腹足类等,本组亦含膏溶角砾岩并富产石膏,为咸化泻湖相(安徽省地质调查院,安徽省大地构造相图1:50万说明书,2012)(图3,4)。黄马青组产广盐度咸水的双壳类 *Myophoria submultistriata* 等及少量植物化石,上部富产淡水双壳类、植物及轮藻 *Stellatochara* 等化石,岩层中具小型板状交错层理,低角度交错层理、槽状交错层理、波痕等,遗迹化石丰富,垂直层面的虫管发育(李玉发等,1997),为三角洲前缘砂体特征。湖北咸宁一带的蒲圻组(图3),上部以粉砂质页岩、泥质粉砂岩为主;下部为粉砂岩;底部砂质页岩中产双壳类 *Mytilus eduliformis*、*Bakevella intermedia*、*Permophorus* sp. 等、轮藻 *Sinochara yuananensis* 等(陈公信等,1996)、植物 *Annalepis* sp.,为中三叠统铜川阶标准组合化石之一(汪啸风等,2005),其时期与盆地西侧的陆水河组可以对比,为滨岸—三角洲的过渡环境。

1.1.2 九华山—无锡—南通分区 本区的早—中三叠世地层分布于安徽青阳、广德,浙江长兴等地区,岩石组合见图2,整体为一套从下向上为钙质泥页岩—薄层灰岩与页岩互层—薄中层灰岩—厚层灰岩的建造序列(图3,4)。代表性剖面是浙江长兴煤山剖面(龚一鸣和张克信等,2007),从二叠系—三叠系界线层向上依次为殷坑组、和龙山组和南陵湖组下部。殷坑组以钙质泥岩为主,韵律性地出现富有机质和黄铁矿微粒的极具水平层理的暗色泥岩层,缺氧层与充氧层周期性交替出现,为深水陆棚环境产物。

和龙山组以开阔陆棚浅海泥晶灰岩为主。南陵湖组以红色块状灰岩为主,是早三叠世晚期海平面持续下降、盆地沦为半局限—局限滨浅海的产物。周冲村组和黄马青组的特征基本与咸宁—安庆—南京分区相似。

1.1.3 都昌—冬至分区 该区仅出露青龙组(图2),主体为一套碳酸盐岩建造,下部为钙质泥岩与粘土质页岩,上部为微—细晶灰岩、泥晶灰岩、含菊石 *Meekoceras* sp.、殷坑阶典型双壳类化石 *Claraia* sp.(汪啸风等,2005;江西省地质调查院,江西省大地构造相图1:50万说明书,2012)。

1.1.4 长沙—南昌分区 本分区的早—中三叠世地层分布于江西丰城、高安等地区。主要发育2套岩石组合(图2),沉积建造以碳酸盐岩为主,夹碳质页岩、硅质岩。基本沉积建造特征与九华山—无锡—南通分区相似。区别之处在于,在周冲组之上发育一套粉砂岩与粉砂质泥页岩为沉积特征的杨家组(图2),含双壳类 *Unionites* sp.、植物化石 *Neocalamites* sp.、叶肢介 *Enestenia* sp.(江西省地质调查院,江苏省大地构造相图1:50万说明书,2012)。

印支运动的影响在沉积建造上有所体现,在上三叠统的底部广泛分布着一个不整合面,北面的咸宁—安庆—南京分区和九华山—无锡—南通分区基本为平行不整合面,在昌都—冬至分区就仅出露早三叠地层。向南至长沙—南昌分区为一明显的角度不整合面。而婺源—黄山分区以及怀玉山—天目山分区中缺失早—中三叠沉积建造。

1.2 晚三叠世—中侏罗世

1.2.1 咸宁—安庆—南京分区 上三叠—中侏罗统地层分布于江苏南京地区(图3,5),主要发育两套岩石组合(图2)。上三叠统主要以砂岩—粉砂岩夹砂质页岩、碳质页岩建造为主,下—中侏罗统以长石英砂岩—泥质粉砂岩为主。

其中九里岗组为粉砂岩—泥岩为主,夹砂岩及碳质页岩。主要植物组合分子有:*Lepidopteris-Bernoullia-Pterophyllum bavieri*,为胡家村阶典型植物组合,时期相当于晚三叠世早期,以及 *Drepanozamites-Cycadocarpidium*,为永坪阶典型植物组合,时期相当于晚三叠世中期(汪啸风等,2005)。王龙滩组以砂岩为主,夹粉砂岩、碳质页岩或煤层,含植物化石 *Anthrophyopsis crassinervis*、*Dictyophyllum nathorsti* 等,代表的是胡家村阶—永坪阶的典型植物组合,相当于晚三叠世。而 *Coniopteris hymenophylloides*、*Ptilophyllum con-*

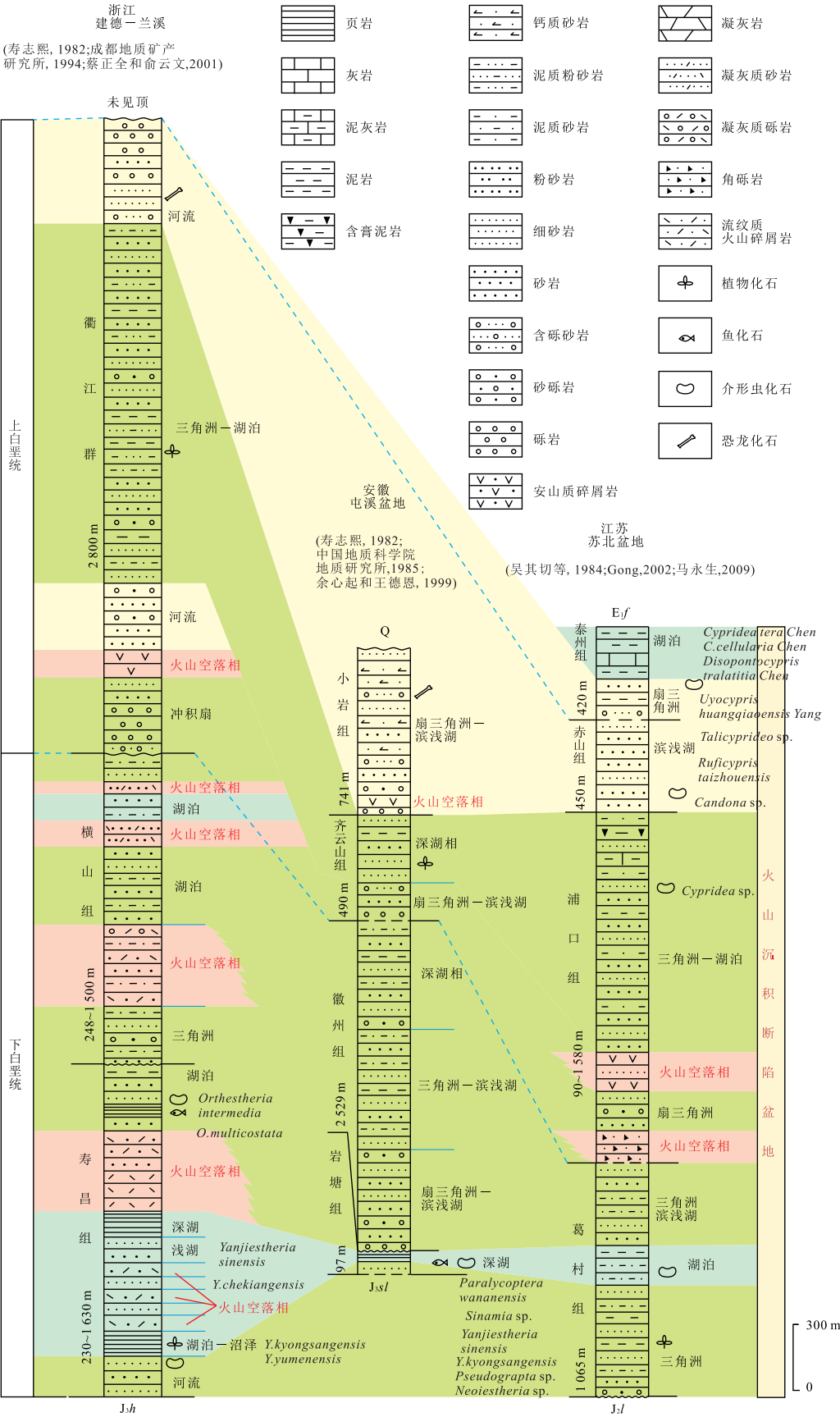


图 6 下扬子白垩系对比与沉积相和沉积盆地演化

Fig.6 The stratigraphic correlation and sedimentary facies and the evolution history of sedimentary basin of Cretaceous in Lower Yangtze continental block

tiguum 等植物化石为早侏罗世晚期的典型植物组合(汪啸风等,2005),所以王龙滩组上部为早侏罗世地层。桐竹园组为砂质页岩—砂岩为主,夹薄煤层或煤线,以 *Pseudocardinia-Qiyangia cuneata* 动物群及 *Coniopteris-Ptilophyllum Contiguum-Sphenobaiera huang* 植物组合为特征(陈公信等,1996),为早侏罗世晚期—中侏罗世的典型植物组合(汪啸风等,2005),王龙滩组和桐竹园组产出煤矿(湖北省地质调查院,湖北省大地构造相图 1:50 万说明书,2012)。花家湖组含砾砂岩、杂色粉砂岩和泥岩,组成若干套韵律层,几乎每个韵律层底部均具明显冲刷面,反映出明显的河流冲积相为主的沉积特征(图 3),其产双壳类 *Pseudocardinia hupehensis* 等(陈公信等,1996)。范家塘组为粉—细砂岩夹碳质泥岩,并富产植物 *Cycadocarpidium erdmanni* 等、淡水双壳类 *Sibireconcha shensiensis*、咸水双壳类 *Mytilus lamellosus* 等及少量昆虫化石(李玉发等,1997),并可见植物 *Cycadocarpidium-Cladophlebis graciles* 组合(永坪阶典型植物组合,时期相当于晚三叠世中期)(黄其胜,1984)。钟山组下部为砂岩、含砾砂岩;中部粉砂岩、页岩夹薄煤层;上部砂岩夹粉砂质页岩,含植物、双壳类及腕足类化石 *Todites pzinceps-Ptilophyllum* 组合(江苏省地质调查院,江苏省大地构造相图 1:50 万说明书,2012)。罗岭组为杂色砂、泥岩夹砾岩(李玉发等,1997),含双壳类、腹足类、介形类、爬行类化石 *Lamprotula cremeri-Pseudocardinia kweichouensis* 等(安徽省地质调查院,安徽省大地构造相图 1:50 万说明书,2012),为湖泊三角洲相。北象山组以下部位粉—细砂岩、泥岩,向上变粗粉—细砂岩夹中细砂岩(图 5)。局部含火山碎屑岩,底含砾,产腹足类 *Amplovalvata aff. Suturalis*、介形虫 *Darwinula* sp.、*Metacypris* sp.、轮藻 *Aclistochara sunanensis*、孢粉 *Deltoidospora*、*Cyathidites* 等(徐学思,1997)。反映下部为河床沉积特征,中间夹细粒沉积物表现为水域封闭较好的河流或湖泊沼泽化的沉积特征。

1.2.2 九华山—无锡—南通分区 上三叠统主要以砂岩—粉砂岩夹页岩建造为主,黄马青组和范家塘组与咸宁—安庆—南京分区特征相似。该区的早侏罗世地层分布于湖北咸宁,江苏溧阳,浙江建德等地区(图 3,5)。主要为一套砾岩、砂岩—泥质粉砂岩,包括马涧组、钟山组、渔山尖组、罗岭组。其中马涧组为砾岩、含砾砂岩、粉砂岩、粉砂质泥岩和泥质粉砂岩夹煤线,向上碎屑物粒度变细,产双壳类 *Tutuel-*

la rotunda、植物化石 *Clathropteris meniscioides* 等(俞国华等,1996)。渔山尖组为砂岩、粉砂质泥岩夹含砾岩(俞国华等,1996),含双壳类,其中 *L.(Eo-lamprotula) turgescens* 和 *Pseudocardinia sibirica* 为早侏罗世晚期—中侏罗世的典型分子;介形类 *Darwinula sarytirmenensis* 等,属于早侏罗时介形类典型组合分子;植物化石 *Anomozamites cf. major*, *Cladophlebis williamsoni* 属于早侏罗早期典型植物类型(汪啸风等,2005),另外还产腹足类 *Liratina subtilostriata* 等、叶肢介 *Nestoria longjiensis* 等(浙江省地质调查院,浙江省大地构造相图 1:50 万说明书,2012)。罗岭组、钟山组与咸宁—安庆—南京分区相似。

1.2.3 长沙—南昌分区 本区的晚三叠—中侏罗世地层分布于江西丰城、高安等地区。沉积建造以长石石英砂岩、粉砂岩,夹砂质页岩为主,上部含砾石。主要发育三套岩石组合(图 2)。其中打鼓顶组 Rb-Sr 年龄为 141.21 Ma(张万良,2000)。

安源组为一套含煤碎屑岩(杨遵仪等,2000)。含植物、双壳类及叶肢介(安徽省地质调查院,安徽省大地构造相图 1:50 万说明书,2012)。月潭组为粉砂岩夹碳质页岩及煤线,底部为砾岩。含植物及双壳类(安徽省地质调查院,安徽省大地构造相图 1:50 万说明书,2012)。属于河湖相沉积,局部有沼泽化沉积。洪琴组是一套暗紫红色为主的杂色砂、泥、砾岩,局部夹层状安山岩。含双壳类等化石(王思恩等,2001)。

紫家冲组为含煤碎屑岩系:底部为砾岩,向上是砂岩,粉砂岩和页岩,间夹煤层,构成多韵律地层(杨遵仪等,2000),含 *Anthraphyopsis-Ptilozamites* 组合带。三家冲组主要为黑色页岩和泥岩,并含有 *Jiangxiella-Xinyuella* 组合带, *Jiangxiella-Bakevella-Guangdongella* 组合带(湖南省地质调查院,湖南省 1:50 万大地构造相沉积岩工作底图,2012)。三丘田组砾岩,石英砂岩,粉砂岩和泥岩构成韵律层,夹多层煤(图 3),产双壳类: *Bakevella* sp.(江西省地质调查院,江西省大地构造相图 1:50 万说明书,2012),以及属于早侏罗早期典型植物分子: *Anomazamites major*(汪啸风等,2005)。多江组基本特征为砂、泥质碎屑岩夹碳质页岩及煤线(杨遵仪等,2000)(图 3),产侏罗纪早期代表植物化石 *Cladophlebis kaoiana* 和双壳类 *Lilingella* sp.(汪啸风等,2005),含煤(江西省地质调查院,江西省大地构造相图 1:50 万说明书,2012)。水北组为砂岩夹粉砂岩、泥岩。下部常含砾石,

发育斜层理、交错层理(图 3),产双壳类:*Tutuella rotunda*,以及侏罗纪早期代表植物化石:*Cladophlebis punctata*(江西省地质调查院,江西省大地构造相图说明书(1:50 万),2012)。漳平组为一套杂色细砂岩、粉砂岩、泥页岩,产中侏罗世晚期双壳类组合 *Cuneopsis-Psilunio-Eolamprotula* 和 *Pseudocardinia-Tutuella* 组合,中侏罗世晚期的介形类组合 *Darwinula magna-D. Sarytirmenensis* 组合(龚一鸣和张克信,2007),以及叶肢介 *Euestheria yangjiawanensis*(中侏罗世较为典型的分子(汪啸风等,2005)),植物 *Neocalamites* sp.等及硅化木化石,属于河、湖相沉积。如意亭组为一套正常沉积碎屑岩夹凝灰岩或少量的火山碎屑岩,底部可见砂砾岩或加里东期花岗质碎屑岩(王思恩等,2001)。打鼓顶组上部以安山岩、英安岩为主,下为熔结凝灰岩和角砾凝灰岩,含中侏罗世晚期的双壳类组合分子 *Ferganoconcha* cf. *Liaosiensis* 等(汪啸风等,2005),植物 *Klukia* sp.等。

造上组以底部为砾岩、向上变细为砂岩与砂质泥岩互层为特征(杨遵仪等,2000)(图 3),并产有下侏罗统的典型双壳类组合:*Xinyuelia-Ialingella-Waagenoperna* 组合带,以及植物 *Thinnfeldia-Nilssonina-Sagenopteris* 组合带(汪啸风等,2005;湖南省地质调查院,湖南省 1:50 万大地构造相沉积岩工作底图,2012)。石康组以粉砂质泥岩与细—粉砂岩组成韵律结构为特征(王思恩等,2001)含双壳类组合带:*Hiatolla-Astorte-Cardiria*(湖南省地质调查院,湖南省 1:50 万大地构造相沉积岩工作底图,2012)。高家田组可划分早侏罗世晚期—中侏罗世典型植物组合 *Ptilophyllum-Coniopteris* 组合带,含煤矿(湖南省地质调查院,湖南省 1:50 万大地构造相沉积岩工作底图,2012)。千佛岩组以粉砂岩、页岩为主,夹介壳灰岩凸镜体(王思恩等,2001)。含中侏罗世双壳类组合 *Apseudocardinid-Qiyangia*(湖南省地质调查院,湖南省 1:50 万大地构造相沉积岩工作底图,2012)。

1.2.4 婺源—黄山分区和怀玉山—天目山分区

两个区沉积建造基本相同,沉积建造与长沙—南昌分区相似(图 2)。上三叠统主要以砾岩、砂岩为主,间夹含煤碎屑层。该地区早—中侏罗世沉积建造主要以河流湖泊相陆源碎屑岩建造为主,三丘田组、多江组、水北组、漳平组以及洪琴组整体上特征与长沙—南昌分区相似。马涧组与渔山尖组与九华山—无锡—南通分区相似。

1.3 晚侏罗世—白垩纪

1.3.1 咸宁—安庆—南京分区 该区上侏罗统—

白垩系主要发育两套岩石组合(图 2),为一套灰质砾岩、砂砾岩—长石石英砂岩夹凝灰岩、角闪安山质、粗安质、玄武质火山岩及火山碎屑岩建造的地层(图 2)。同位素测年龙王山组为 131 ± 4 Ma,大王山组为 127 ± 3 Ma(张旗等,2003),马架山组、灵乡组、大寺组分别为 $142 \sim 146$ Ma、 $80 \sim 127$ Ma、 128 ± 1 Ma(谢桂青等,2006),双庙组、浮山组 U-Pb 年龄分别为 130.1 ± 1.2 Ma、 127.2 ± 1.3 Ma(薛怀民等,2012)。

西横山组下段为砾岩—砂岩,上段变细为粉砂岩—泥岩互层。具平行层理、水平层理及沙纹层理,局部见交错层理,含腹足类 *Bicarinospira depressa*、植物 *Elatocladus* sp.,以及晚侏罗世晚期标准介形虫组合带分子 *Darwinula* sp.、特征昆虫群 *Ephemeropsis trisetalis*(汪啸风等,2005)以及典型孢粉组合带分子 *Classopollis* 等(龚一鸣和张克信,2007),为河流相环境。龙王山组的泥质粉砂岩夹层中含植物 *Pagiophyllum*,孢粉以 *Classopollis* 为主(徐学思,1997)。大王山组为一套火山岩及火山碎屑沉积岩建造。下部为火山角砾岩、沉凝灰岩、泥质粉砂岩夹黑色泥页岩;上部为粗安岩、火山角砾岩、熔结凝灰岩,夹凝灰岩及沉凝灰岩,其顶为粗面岩与角砾熔岩相间。泥质粉砂岩中含植物 *Pagiophyllum*,孢粉以 *Classopollis* 为主(徐学思,1997)。双庙组为凝灰角砾岩,底部为泥岩,局部有底砾岩(安徽省地质调查院,安徽省大地构造相图 1:50 万说明书,2012)。产植物 *Elatocladus*, *Brachyphyllum*;义县阶特征腹足类分子 *Probaicalia gerassimovi*,相当于下白垩世早期;沙海阶典型双壳类分子 *Nckakamuranaia*,相当于下白垩世中期(龚一鸣和张克信,2007);孙家湾阶—泉头阶标准介形分子 *Cypridea* 和叶肢介分子 *Ortheastheria* 等,其时期相当于早白垩世晚期(汪啸风等,2005)。浮山组为粗面岩、安山岩夹凝灰质粉砂岩,产孢粉 *Tumoriipollenites minor* 等。葛村组含植物 *Carpolithus*、双壳类、叶肢介、腹足类及孙家湾阶—泉头阶特征鱼类分子 *Paracalupea chetungensis* 等化石(李玉发等,1997),早白垩世特征介形类分子 *Cypridea subyaldousis*、轮藻 *Clavator* sp.等(安徽省地质调查院,安徽省大地构造相图 1:50 万说明书,2012)。浦口组以砂岩—粉砂岩夹粉砂质泥岩及砂砾为特征,下部夹角砾岩,底部为砾岩为特征(李玉发等,1997);产早白垩世晚期典型轮藻分子 *Atopochara trivolvis* 和泉头阶—孙家湾阶典型介形类 *Cypridea* 等(汪啸风等,2005)。

赤山组产介形虫 *Cypidos-CypzolaParallyeotypela* 组合(安徽省地质调查院,安徽省大地构造相图 1:50 万说明书,2012)(图 6),为氧化环境河流—冲积扇—扇三角洲相沉积。

马架山组上部为霏细岩,下部为角砾岩及集块岩,偶含少量植物化石 *Podozamites* sp.等。灵乡组为一套碎屑岩夹凝灰岩、安山岩、安山岩的地层,产双壳类 *Nakanuranaia chingshanensis*、介形类 *Cypridea spinosa*、植物 *Pseudofrenelopsis parceramosa* 和孢子花粉 *Classopollis* 等,为内陆湖泊相。大寺组由安山岩、珍珠岩、流纹岩和凝灰岩夹薄层粉砂岩及火山岩系组成。公安寨组为一套底部为砾岩的杂色碎屑岩系,产介形类、轮藻、叶肢介等化石(陈公信等,1996)。晚侏罗世—白垩纪该分区沉积建造总体为河流—湖泊相,晚侏罗世晚期—早白垩世多套火山建造反映出整体处于拉张环境。

1.3.2 九华山—无锡—南通分区 该区的晚侏罗世—白垩纪分布于安徽宣城和郎溪,江苏溧阳等地区(图 6)。主要发育五套岩石组合(图 2),主要为一套砾岩、砂岩—泥质粉砂岩夹不稳定的酸性熔岩或酸性火山碎屑岩,上部富含钙质结核粉砂岩夹粉砂岩。李祥辉等(2011)测得劳村组、黄尖组、寿昌组、横山组 U-Pb 年龄分别为 134~125 Ma、125~118 Ma、125~121 Ma 和 121~115 Ma。中侏罗典型腹足类 *Amplovalvata. Suturalis*, *A. angipingensis* 仅产于劳村组,同时,劳村组产晚侏罗世特征昆虫化石属 *Mesopanorpa* 和 *Ephemeropsis* 昆虫群(图 5)(马武平,1997),说明劳村组、黄尖组、寿昌组均为侏罗纪晚期—白垩纪早期穿时地层(图 6)。

劳村组为一套泥质粉砂岩、砂岩夹流纹岩和少量砾岩、砂—粉砂岩(李玉发等,1997)。黄尖组岩性为酸性火山碎屑岩夹沉积岩薄层(李祥辉等,2011)。寿昌组为杂色砂、页岩,中部和顶部各有一层厚度不稳定的酸性火山岩,产沙海阶—阜新阶代表鱼类 *Mesoclupea showchangensis*,相当于早白垩世中期,并产早白垩世早期的义县阶特征腹足类分子 *Probaicalia gerassimovi*,早白垩世早期双壳类分子 *Ferganoconcha shouchangensis*,晚侏罗世晚期标准介形类 *Darwinula sarytirmenensis*(龚一鸣和张克信,2007)和同期典型昆虫群 *Ephemeropsis triserialis* 等(汪啸风等,2005),说明寿昌组具有穿时性,为晚侏罗晚期—早白垩世。横山组为一套粉砂岩夹粉砂岩,偶夹砾岩及细砂岩、粉砂岩,上部偶夹凝灰岩的沉积建造;含早白垩世中期沙海阶特征双

壳类分子 *Nakamuranaia elongate*(龚一鸣和张克信,2007)、腹足类 *Mesoneritina pustula* 等(俞国华等,1996)。朝川组以粉砂岩、砂岩、含钙质结核砂岩夹沉凝灰岩等为特征。含植物化石 *Pseudofenelopsis parceramosa*、*P. papillosa*、*Pagiopyllum*。方岩组含植物化石 *Pseudofrenelopsis cf. parceramosa*、叶肢介 *Neodiethria curta* 等。金华组为一套细粒的碎屑沉积建造,含代表晚白垩世嫩江期的双壳类 *Sphaerium shantungense*(龚一鸣和张克信,2007),另外还产介形类 *Cristocypridea triangulata*、叶肢介 *Zhesteria tenuis*、昆虫 *Siculicorixa extria*。衢县组为一套砾岩—泥岩的碎屑岩沉积建造,含介形类 *Cristocypridea zhejiangensis*、晚白垩世早期典型轮藻分子 *Obtusochara cylindrica* 等,以及恐龙蛋和恐龙骨化石(浙江省地质调查院,浙江省大地构造相图 1:50 万说明书,2012)。周公山组是一套砂岩夹砾岩的沉积建造,含植物化石 *Cupressinocladus*、晚白垩世中期孢粉组合带分子 *Cupressaceae*、*Schizaeoisporites*(汪啸风等,2005),为滨湖相沉积,其底部不整合面代表燕山运动序幕在该区的反映(浙江省地质调查院,浙江省大地构造相图 1:50 万说明书,2012)。

江镇组主要为流纹岩、流纹质熔结角砾岩、流纹质火山角砾岩(李玉发等,1997)。汪公庙组主要为安山质火山角砾岩、粉砂岩、含砾砂岩及夹凝灰质粉砂岩;上部为长石石英砂岩、粉砂岩、页岩的韵律层。产鱼类、双壳类、植物等化石(王思恩等,2001)。浮山组、葛村组、浦口组、赤山组与咸宁—安庆—南京分区相似。

1.3.3 长沙—南昌分区 该区的晚侏罗世—白垩纪地层分布于湖南东部,江西九岭山、高安等地区。上侏罗统主要为粉砂岩—砂质泥岩,夹安山岩、流纹质凝灰岩。白垩纪主要为河湖相砾、砂岩沉积。鹅湖岭组凝灰岩锆石 U-Pb 定年 157.2~158.2 Ma(孟祥金等,2012),主要发育 3 套岩石组合(图 2)。

炳丘组以杂色砂、泥、砾岩为主,局部夹层状安山岩,为一套河床相或冲积扇相叠置体沉积(王思恩等,2001)。石岭组为中—酸性火山岩。其下段为安山质岩;上段为流纹质岩(王思恩等,2001)。岩塘组为一套细砂岩、粉砂岩泥岩,局部夹安山岩、流纹质凝灰岩的组合。含海沙阶典型双壳类分子 *Corbicula tetoriensis*,相当于早白垩世中期(汪啸风等,2005),并含有早白垩世早期叶肢介分子 *Yanjiestheria kyongsangensis*、早白垩世晚期代表鱼类 *Paralyco-*

ptera wananensis、昆虫 *Chironomaptera grogaria*、早白垩世早期介形类分子 *Mongolianella palmo-sa*、义县阶代表腹足分子 *Probaicalia cf. vitimensis*、沙海阶—阜新阶植物代表分子 *Coniopteris sp.* 等(汪啸风等, 2005), 其时代均为早白垩世, 为一套湖相沉积。徽州组为一套粗碎屑沉积建造, 含双壳类、叶肢介、轮藻、介形类、植物等化石。齐云山组为一套粉砂岩、砂岩和砾岩, 含植物及孢粉等化石。小岩组为一套砖红色厚层砂岩, 下部或底部为砾岩, 含恐龙、蜥脚类等化石, 平行不整合于齐云山组之上, 未见顶(郝诒纯等, 2000)。

鹅湖岭为一套火山岩间夹碎屑岩建造, 主要由少斑流纹岩、熔结凝灰岩、集块岩、角砾岩、安山岩、英安岩及流纹岩组成, 含中侏罗世晚期的双壳类分子 *Ferganoconcha cf. subcentralis* (龚一鸣和张克信, 2007)、早白垩世早期的叶肢介分子 *Yanjiestheria sp.*、昆虫 *Rhipidoblattina sp.*、介形类 *Rhynchocypris cf. jurassica*, 以及代表晚侏罗世的植物分子 *Onychiopsis sp.* 等(汪啸风等, 2005)。该组属火山喷发相及其间歇期形成的河湖相沉积(王思恩等, 2001)。石溪组为杂色砂岩、粉砂岩、泥岩、火山碎屑岩、局部夹油页岩, 底部为砾岩(郝诒纯等, 2000), 含植物 *Saganopteris shanchamogensis*、早白垩世早期的叶肢介 *Yanjiestheria sinensis* 及介形类化石(汪啸风等, 2005)。冷水坞组为一套碎屑岩, 以杂色砂岩、泥岩夹含砾砂岩, 局部夹凝灰岩为特点。含早白垩世中期沙海阶典型双壳类 *Nakamuranaia chingshanensis*、叶肢介 *Bairdestheria chekiangensis*, 为内陆湖泊相。茅店组以砾岩为主, 夹粉砂岩, 泥岩, 局部夹玄武岩及凝灰岩(郝诒纯等, 2000), 产恐龙蛋化石 *Elongattolithus sp.*、植物 *Klukia browniana*、介形类 *Darwinula oblonga*。周田组为杂色细碎屑岩, 岩性以杂色粉砂岩、泥岩为主, 夹少量芒硝、石盐和石膏, 产孙家湾阶—全头阶特征植物化石 *Frenelopsis sp.* 等(汪啸风等, 2005), 相当于早白垩世中期。河口组为一套粗碎屑沉积建造, 含轮藻 *Gyrigona quangjiangica* 等。塘边组以砂岩、粉砂岩、泥岩为主, 局部夹含砾砂岩、石膏、玄武岩, 产恐龙蛋化石 *Oolithees elongatus*、*Elongattoithus sp.*。莲荷组以砾岩、砂砾岩为主, 夹少量砂岩、粉砂岩、泥岩(郝诒纯等, 2000)。含古脊椎动物 *Coolurosauria Fam. gen. indet.*、*Macroolithes cf. mgustus* (江西省地质调查院, 江西省大地构造相图 1: 50 万说明书, 2012)。

石门组为一套巨厚层—块状砾岩, 其底部可见一层厚度不等的角砾岩(郝诒纯等, 2000)。东井组以砂质、钙质泥岩为主, 夹钙质粉砂岩的沉积建造(图 3), 产早白垩世中期沙海阶典型双壳类 *Nakamuranaia chingshanensis* (汪啸风等, 2005), 并产早白垩世介形虫 *Cypridea sp.*、早白垩世晚期的轮藻 *Flabellochara jurongica* 等和孢粉化石。栏垅组以砾岩、含砾砂岩及粗砂岩为主, 含晚早白垩世早期典型双壳类分子 *Sphaerium sibirica* (龚一鸣和张克信, 2007), 以及介形虫 *Cypridea squalida*、植物 *Manica parceramosa* 和孢粉、叶肢介等化石, 为一套河流—扇三角洲沉积。神皇山组为砂岩与粉砂岩或粉砂质泥岩互层, 间夹泥岩的一套地层, 含晚早白垩世早期典型双壳类分子 *Sphaerium sibirica*; 并产早白垩世介形虫 *Cypridea squalida* (龚一鸣和张克信, 2007)、植物 *Manica parceramosa* 和孢粉、叶肢介等化石, 为陆相淡水沉积。会塘桥组为泥质粉砂岩与粉砂质泥岩互层, 间夹多层杂色泥岩, 产轮藻及介形类化石。罗镜滩组为一套砾岩, 上部夹砂砾岩及含砾砂岩凸镜体, 含晚白垩世介形类 *Talicypridea-quadracypris* 组合带和轮藻分子 *Prochara-charites*。红花套组为一套砂岩, 夹粉砂岩及泥岩页岩(郝诒纯等, 2000), 含晚白垩世特征介形虫组合 *Cypridea (Pseudocypridina)-Quadracypris* 组合带, 含晚白垩世早期的典型轮藻组带 *Maeolierisphaera-Girovesichar* (汪啸风等, 2005)。戴家坪组由泥岩、粉砂岩和石膏组成, 下段产介形虫 *Cypridea spongiosa* 等和孢粉化石; 上段产早白垩世中早期介形虫分子 *Mongolianella sp.* 等和轮藻 *Porochara anluensis* 等, 为湖泊相沉积。车江组是以砂岩、粉砂岩为主, 间夹砂砾岩或粉砂质泥岩的一套地层, 含晚白垩世介形虫 *Cypridea xindianensis* (龚一鸣和张克信, 2007)、轮藻 *Gyrigena zhahiangensis*、姚家阶典型双壳类 *Plicatounio hunanensis* (汪啸风等, 2005) 及恐龙蛋化石。百花亭组为巨厚层状砾岩、砂砾岩、含砾长石石英砂岩、杂砂岩及含砾钙泥质粉砂岩(郝诒纯等, 2000)。

1.3.4 婺源—黄山分区和怀玉山—天目山分区

该地区上侏罗统一白垩系较连续, 怀玉山—天目山分区缺失晚侏罗世的沉积建造, 主要以河流湖泊相陆源碎屑岩建造为主, 早白垩世火山活动强烈。沉积建造整体上与长沙—南昌分区相似, 其中怀玉山—天目山分区的朝川组和方岩组与九华山—无锡—南通分区相似。馆头组为一套砂砾岩、砂岩、粉砂岩、泥

岩,间夹流纹岩、玄武岩、凝灰岩(浙江省地质调查院,浙江省大地构造相图1:50万说明书,2012)。主要为河湖相沉积及火山岩喷发堆积。玄武岩、安山岩K-Ar年龄分别为 99.4 ± 1.1 Ma、 93.8 ± 1.1 Ma(郝诒纯等,2000)。

2 下扬子中生代沉积盆地类型与演化

早—中三叠世下扬子区为陆表海发展阶段(图2,7)。这一时期的古地理格局基本是:南部地区发育滨浅海—碳酸盐台地—一半深海相带,分布面积宽,而北部地区早期发育碳酸盐台地和深水陆棚沉积,在晚期叠置了潮坪—咸化泻湖沉积,相带较窄(图7)。相带的展布与构造线方位基本一致,呈北东向(舒良树等,2004)。前文论述亦揭示出下扬子地区早—中三叠世存在南高北低的古地理格局,表现出早三叠世泥质沉积南部较少、向北增多的趋向(图4);生物群的面貌也明显指示了南浅北深的盆地面貌,即南部地区以 *Claraia* 等底栖双壳类占优势,而北部地区则以 *Ophiceras-Lylophiceras* 等游泳菊石类占优势,中部是两者过渡区。另外早三叠世下扬子地区海相沉积没有典型的深海盆和大陆边缘斜坡的沉积标志。安徽巢湖一带是早—中三叠世时沉积水深最大的地区,但其最深水时期为外陆棚(下部浅海)环境(图2,4)。该阶段下扬子中部(九华山—无锡—南通)和南部(长沙—南昌、怀玉山—天目山)为陆源碎屑—碳酸盐岩混积陆表海(图2)。关于下扬子北缘(咸宁—安庆—南京)转变为外陆棚(图2,7)的原因,吴根耀等(2003)认为是由于江南断裂的右行走滑活动,苏皖地块和怀玉地块向东漂移所致。程日辉等(2004)认为下扬子地区早—中三叠世盆地是在华南板块仰冲、江南隆起上拱以及扬子板块向华北板块逼近的系列构造事件的背景下发育的。冯增昭等(1997)认为,二叠纪末的大海退后的陆上广泛夷平作用使得三叠纪初的海平面上升在整个区域产生了快速和广泛的海侵,海侵不仅使得低海面期的残留盆地连通起来,而且海侵沉积物快速上超在下扬子区广大陆架上,海侵范围很快达到最大。快速的海侵导致区域上的缺氧沉积,形成富含黄铁矿的地层(如殷坑组)。中三叠世时,由于扬子板块朝北北西向运动,靠近华北板块(程日辉等,2004),下扬子海盆地逐步变浅,盆地范围明显缩小,发生大面积海退,形成了海陆交互相和陆相沉积(舒良树等,2004)。盆地内中三叠世海相沉积具向上变浅的进积序列,在大

规模海退末期的残留海坳陷区,呈蒸发岩—碳酸盐岩潮坪—泻湖环境,形成周冲村组膏溶角砾岩为特征的沉积。中三叠世晚期至早侏罗世(T_2-J_1)下扬子区卷入造山作用(吴根耀等,2003)。因大别—苏鲁东南缘造山楔向下扬子陆块的逆冲与推挤作用,使下扬子北缘(咸宁—安庆—南京)转化为周缘前陆盆地(T_2-J_2 ZQ)(图2,4),下扬子中部(九华山—无锡—南通)和南部(长沙—南昌、怀玉山—天目山)转化为坳陷盆地。周冲村组之上的黄马青组、范家塘组和钟山组已转化为陆相(T_3-J_1)。黄马青组从盆地边缘向中心依次出现中粗砂岩—泥质岩相;范家塘组从盆地边缘向中心依次出现砂岩夹煤线相—泥岩相(朱光等,1998)。婺源—黄山地区在二叠纪末彻底结束海相沉积,期间一直为剥蚀区,晚三叠世—早侏罗世早期为压陷盆地(T_3-J_1 DB)演化阶段(图2)。

另外,都昌—东至分区在三叠纪早期沉积了一套含丰富瓣鳃及菊石类化石的钙质页岩夹泥灰岩后,转为灰岩夹鲕状灰岩组合,二叠纪至早三叠世本分区总体为混积台地演化阶段,其后完成向大陆的转变,直到燕山期亦未能接受沉积。该地区在此期间既有与区域基本一致的沉积建造,又有与区域明显不同的沉积间断,后期(燕山期)整个地区迎来了空前强烈的岩浆活动和造山运动,未能接受区域性断陷盆地沉积,却完成了最具建设意义的一次成矿地质作用(杨明桂等,2004)。

早侏罗世下扬子区仍然以延续发育周缘前陆盆地为主,沉积含煤类磨拉石建造,厚达上千米,并与前期中晚三叠世前陆盆地沉降中心基本叠合(杜建波等,2007)。至此,华南统一陆块海西—印支阶段的构造演化史结束,开始了以陆内造山作用为主的新的构造阶段。

中侏罗世之后下扬子区进入一个全新的运动体制和构造演化阶段,地层均为零星分布,为一系列的拉分—断陷小盆地,大致沿北东—南西走向带状展布。此期可分为早期的挤压阶段(J_2-K_1)和晚期的拉张阶段(K_2)。中侏罗世至早白垩世,残留的苏鲁洋再一次消减,下扬子在该时期快速向北漂移(吴根耀等,2002),导致北西南东向的强烈挤压,并伴有左行剪切(白云风等,2007)。

至白垩纪,下扬子区广泛出现北东东向为主的线形构造(朱光等,2000),盆地展布明显呈北东向,火山作用活跃(图5,6),为系列分布的北东向火山—沉积断陷盆地。沿庐断裂由于走滑作用,发育了拉分盆地(J_2-KHLF)(图2)。从晚侏罗世开始强

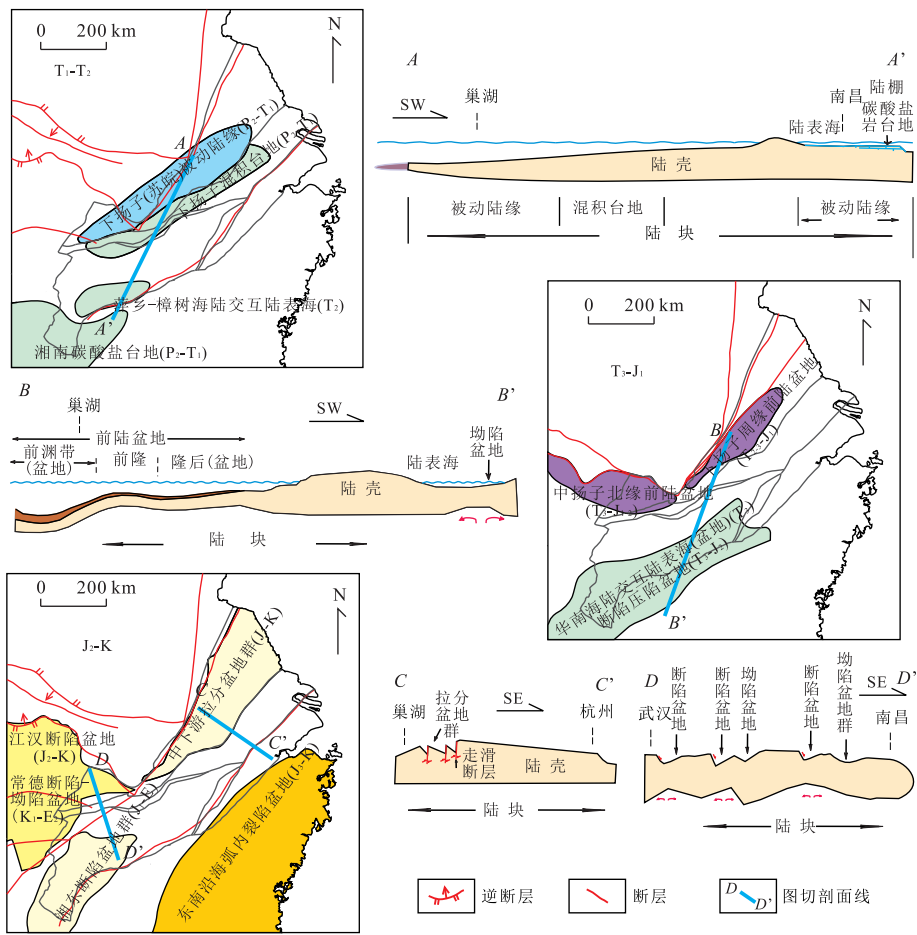


图 7 下扬子中生代沉积盆地演化

Fig.7 Basin evolution of Mesozoic in Lower Yangtze area

烈火山喷发形成的火山岩从早至晚具有从中基性向中性偏碱性方向演化的特征,并以半地堑式为主(朱光等,2000).在瑞彭地区岩浆活动一成矿地质作用强烈(杨明桂等,2004),形成了著名的九瑞铜金多金属矿田和彭山锡铅锌多金属矿田(季绍新等,1990;刘南庆和黄剑风,1994;刘南庆,1995;曹钟清等,2006).这一阶段的江南隆起总体上处于相对隆起,但其上局部也发育了上白垩统红层堆积的断陷、坳陷盆地(朱光等,2000).

3 结论

(1)通过对下扬子地区中生代岩石地层序列、沉积建造、沉积相和生物组合的分析,按 6 个地层分区和 3 个演化阶段(早—中三叠世、晚三叠世—中侏罗世、晚侏罗世—白垩纪),识别出下扬子陆块沉积盆地类型 5 种:陆表海(T₁₋₂)、周缘前陆盆地(T₃-J₁)、压陷盆地(T₃-J₂)、断陷盆地(J₃-K)和拉分盆地(J₃-K),初

步建立了下扬子陆块中生代沉积盆地时空分布格架.

(2)三叠纪—早侏罗世为与特提斯海演化相关的构造阶段,分为两个亚阶段:早三叠世—中三叠世陆表海;晚三叠世—早侏罗世前陆盆地.

(3)中侏罗世—白垩纪转化为滨太平洋构造阶段,分为两个亚阶段:中侏罗世以挤压构造背景为主,大部分地区为隆升剥蚀区;晚侏罗世—白垩纪为强烈的伸展拉张期,发育了一系列北东向火山—沉积断陷盆地和拉分盆地,盆—岭构造格局形成.

致谢:本文撰写得到叶天竺、肖庆辉、潘桂堂、张智勇、冯益民、邓晋福、邢光福、陆松年等专家学者的指导,并参考了湖北省地质调查院、湖南省地质调查院、安徽省地质调查院、江苏省地质调查院、江西省地质调查院、浙江省地质调查院等大量区域地质调查基础资料,和省级《沉积大地构造图(1:500 000)》与说明书和相关系列图件,在此深表感谢!

References

- Bai, Y. F., Cheng, R. H., Kong, Q. Y., et al., 2007. Sedimentary Paleogeography and Geological Background in the Pukou Stage of Late Cretaceous Period in the Lower Yangtze Area. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 37(4): 684—689 (in Chinese with English abstract).
- Bureau of Geology and Mineral Resources of Anhui Province, 1991. Regional Geology of Anhui Province. Geological Publishing House, Beijing (in Chinese).
- Bureau of Geology and Mineral Resources of Hubei Province, 1991. Regional Geology of Hubei Province. Geological Publishing House, Beijing (in Chinese).
- Bureau of Geology and Mineral Resources of Hunan Province, 1991. Regional Geology of Hunan Province. Geological Publishing House, Beijing (in Chinese).
- Bureau of Geology and Mineral Resources of Jiangsu Province, 1991. Regional Geology of Jiangsu Province and Shanghai City. Geological Publishing House, Beijing (in Chinese).
- Bureau of Geology and Mineral Resources of Zhejiang Province, 1991. Regional Geology of Zhejiang Province. Geological Publishing House, Beijing (in Chinese).
- Cai, Z. Q., Yu, Y. W., 2001. Subdivision and Correlation of the Upper Beds of the Cretaceous System in Zhejiang. *Journal of Stratigraphy*, 25(4): 259—266 (in Chinese with English abstract).
- Cao, Z. Q., Tian, B. S., Zhang, P., 2006. The Prospecting and Exploration of Copper Resources in Jiujiang-Ruichang Area. *Journal of East China Institute of Technology*, (Suppl.): 38—44 (in Chinese with English abstract).
- Chen, G. X., Jin, J. W., et al., 1996. Lithostratigraphy of Hubei Province. China University of Geosciences Press, Wuhan (in Chinese).
- Cheng, R. H., Bai, Y. F., Li, Y. B., 2004. Evolution of Paleogeography of Triassic of Lower Yangtze Area. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 34(3): 367—371 (in Chinese with English abstract).
- Chengdu Institute of Geology and Mineral Resources, 1994. The Lithofacies Paleogeographic Atlas of Southern China. Science Press, Beijing (in Chinese).
- Dickinson, W. R., 1974. Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Special Publication. *Tectonics and Sedimentation*, 22: 1—27.
- Du, J. B., He, M. X., Zhang, Y. X., et al., 2007. Tectonic Evolution and Sedimentary Characteristics of the Foreland Basin in the Northern Part of Lower Yangtze Area. *Petroleum Geology & Experiment*, 29(2): 133—137 (in Chinese with English abstract).
- Feng, Z. Z., Bao, Z. D., Li, S. W., et al., 1997. Lithopaleogeography in the Early Mid-Triassic of Southern China. Petroleum Industry Press, Beijing (in Chinese).
- Gong, J. M., 2002. Mesozoic Strata Correlations of the South Yellow Sea Basin and Its Adjacent Areas. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 22(3): 83—91.
- Gong, Y. M., Zhang, K. X., 2007. Basic and Frontiers in Stratigraphy. China University of Geosciences Press, Wuhan (in Chinese).
- Guo, N. F., Yao, B. P., Wu, Q., 1999. The Appraisal of Oil and Gas Geological Conditions of the Wuwei Basin, Anhui. *Geology of Anhui*, 9(4): 289—311 (in Chinese with English abstract).
- Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, 1985. The Lithofacies Paleogeographic Atlas of China. Map Press, Beijing (in Chinese).
- Hao, Y. C., Su, D. Y., Yu, J. X., et al., 2000. China Formation Dictionary: Cretaceous. Geological Publishing House, Beijing (in Chinese).
- Huang, Q. S., 1984. A Preliminary Study on the Age of Lali-jian Formation in Huaining Area, Anhui. *Geological Review*, 30(1): 1—7 (in Chinese with English abstract).
- Ji, S. X., Wang, W. B., Xing, W. C., 1990. Copper Mine in Northwestern Jiangxi Province. Geological Publishing House, Beijing (in Chinese).
- Li, X. H., Chen, S. D., Luo, J. H., et al., 2011. LA-ICP-MS U-Pb Isotope Chronology of the Single Zircons from Early Cretaceous Jiande Group in Western Zhejiang, SE China: Significances to Stratigraphy. *Geological Review*, 57(6): 825—836 (in Chinese with English abstract).
- Li, Y. F., Jiang, L. F., 1997. Lithostratigraphy of Anhui Province. China University of Geosciences Press, Wuhan (in Chinese).
- Liu, N. Q., 1995. Development History of Its Structure from the View of Magmatic Evolution of Pengshan Area. *Geology of Jiangxi*, 9(3): 205—217 (in Chinese with English abstract).
- Liu, N. Q., Huang, J. F., 1994. NNE Fracture in Pengshan Area and Its Controlling of Rocks and Ores. *Geology and Prospecting*, 30(5): 14—17 (in Chinese with English abstract).
- Ma, W. P., 1997. New Ideas about the Stratigraphic Division of the Late Mesozoic in Zhejiang. *Regional Geology of China*, 16(2): 124—129 (in Chinese with English abstract).
- Ma, Y. S., 2009. Tectonic Geology of South China: Atlas of Lithofacies Paleogeographic Sequence (Sinian-Neogene).

- Science Press, Beijing.
- Meng, X. J., Xu, W. Y., Yang, Z. S., et al., 2012. Time Limit of Volcanic-Magmatic Action in Lengshuikeng Orefield, Jiangxi: Evidence from SHRIMP Zircon U-Pb Ages. *Mineral Deposits*, 31(4): 831—838 (in Chinese with English abstract).
- Pan, G. T., Xiao, Q. H., Lu, S. N., et al., 2009. Subdivision of Tectonic Units in China. *Geology in China*, 36(1): 1—28 (in Chinese with English abstract).
- Qian, M. P., Zhu, S. P., Zhao, F. M., 1997. Discovery of Early Triassic Fish Fossils and Its Significances in Jurong, Jiangsu Province. *Geology of Jiangsu*, 21(2): 65—71 (in Chinese with English abstract).
- Shang, Y. J., Xia, B. D., Du, Y. J., 1999. Sedimentary Structure Feature and Evolution of the Jurassic-Early Cretaceous Basins in Lower Yangtze Region. *Acta Sedimentologica Sinica*, 17(2): 188—191 (in Chinese with English abstract).
- Shou, Z. X., 1982. The Division and Correlation of Cretaceous Volcanic Series in Southeast China. *Bull. Nanjing Inst. Geol. M. R., Chinese Acad. Geol. Sci.*, 3(1): 1—15 (in Chinese with English abstract).
- Shu, L. S., Zhou, X. M., 2002. Late Mesozoic Tectonism of Southeast China. *Geological Review*, 48(3): 249—260 (in Chinese with English abstract).
- Shu, L. S., Zhou, X. M., Deng, P., 2004. Geological Features and Tectonic Evolution of Meso-Cenozoic Basins in Southeastern China. *Geological Bulletin of China*, 23(9): 876—884 (in Chinese with English abstract).
- Song, C. Z., Lin, S. F., Zhou, T. F., et al., 2010. Mesozoic Tectonic Tonic Regime Transition of the Middle and Lower Reaches of the Yangtze River and Its Adjacent Area. *Acta Petrologica Sinica*, 26(9): 2835—2849 (in Chinese with English abstract).
- Wang, S. E., Zheng, S. L., Yu, J. S., et al., 2001. China Formation Dictionary: Jurassic. Geological Publishing House, Beijing (in Chinese).
- Wang, X. F., Chen, X. H., 2005. Stratigraphic Subdivision and Correlation of Each Geologic Period in China. Geological Publishing House, Beijing (in Chinese).
- Wu, G. Y., Chen, H. J., Ma, L., 2002. Su-Wan Block: An Independent Tectonic Unit during Period of Tethyan Evolution. *Journal of Palaeogeography*, 4(2): 77—87 (in Chinese with English abstract).
- Wu, G. Y., Ma, L., Chen, H. J., et al., 2003. Tectonic Evolution of the Su-Wan Block, Creation of the Su-Lu Orogen and Orogenesis-Coupled Basin Developing. *Geotectonica et Metallogenia*, 27(4): 337—353 (in Chinese with English abstract).
- Wu, Q. Q., Yang, W. D., Hu, C. L., 1984. The Boundary between Upper Cretaceous and Lower Tertiary in Jiangsu and Anhui Provinces and Adjacent Areas. *Science in China (Ser. B)*, (7): 645—657 (in Chinese).
- Xie, G. Q., Mao, J. W., Li, R. L., et al., 2006. Zircon SHRIMP U-Pb Dating and Its Significance of the Volcanic Rocks of the Dasi Formation in SW Hubei Province, Middle and Lower Reaches of Yangtze River. *Chinese Science Bulletin*, 51(19): 2283—2291 (in Chinese).
- Xu, X. S., 1997. Lithostratigraphy of Jiangsu Province. China University Geosciences Press, Wuhan.
- Xue, H. M., Dong, S. W., Ma, F., 2012. Zircon SHRIMP U-Pb Ages of Volcanic Rocks in the Luzong Basin, Middle and Lower Yangtze River Reaches: Constraints on the Model of Late Mesozoic Lithospheric Thinning of the Eastern Yangtze Craton. *Acta Geologica Sinica*, 86(10): 1569—1583 (in Chinese with English abstract).
- Yan, J. Z., Yu, K., Zhao, S. B., et al., 1999. The Mesozoic Foreland Basins in Lower Yangtze Area. *Experimental Petroleum Geology*, 21(2): 3—4 (in Chinese with English abstract).
- Yang, M. G., Wang, F. N., Zeng, Y., et al., 2004. The Metal Mineralization Geology in the North of Jiangxi Province. China Land Press, Beijing (in Chinese).
- Yang, Z. Y., Zhang, S. X., Yang, J. D., et al., 2000. China Formation Dictionary: Triassic. Geological Publishing House, Beijing (in Chinese).
- Ye, Z., Ma, L., Liang, X., et al., 2006. The Independent Lower Yangtze Block and Mesozoic Reformed Residual Basins. *Chinese Journal of Geology*, 41(1): 81—101 (in Chinese with English abstract).
- Yu, G. H., 1996. Zhejiang Province Lithostratigraphic. China Geological Publishing House, Wuhan.
- Yu, X. Q., Wang, D. E., 1999. The Sequence Stratigraphy of Terrestrial Facies of the Tunxi Basin in South Anhui. *Geology of Anhui*, 9(1): 30—36 (in Chinese with English abstract).
- Zeng, Y. T., Wen, Z. G., Song, H. X., 2006. Evaluation and Calibration of Lower Triassic Marine Source Rock in Nanling-Wuwei Area. *Marine Origin Petroleum Geology*, 11(4): 34—38 (in Chinese with English abstract).
- Zhao, L. S., Tong, J. N., Orchard, M. J., et al., 2005. Lower Triassic Conodont Zonations of Chaohu Area, Anhui Province and Their Global Correlation. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 30(5): 623—632 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, Q., Jian, P., Liu, D. Y., et al., 2003. Zircon SHRIMP

- U-Pb Dating of the Volcanic Rocks in Ningwu and Its Significance. *Science in China (Series D)*, 33(4): 309—314 (in Chinese).
- Zhang, Q., Jiao, S. T., Wu, H. R., 2013. Palaeotopographic Map of the Triassic of China. *Journal of Palaeogeography*, 15(2): 181—202 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, W. L., 2000. Stratigraphic Attribution of Volcanic Series in Shengyuan Basin. *Uranium Geology*, 16(2): 99—101 (in Chinese with English abstract).
- Zhu, G., Xu, J. W., Liu, G. S., et al., 1998. Tectonic Control on Development of the Foreland Basin along the Yangtze River in the Lower Yangtze River Region. *Geological Review*, 44(2): 120—129 (in Chinese with English abstract).
- Zhu, G., Liu, G. S., Li, S. Y., et al., 2000. “Four-Story” Structure of the Basins in the Lower Yangtze Region and Their Geodynamic Setting. *Journal of Hefei University of Technology*, 23(1): 47—52 (in Chinese with English abstract).
- Zhu, M. X., Zhang, X. L., Wang, Y. H., 2000. The Diageneses and Diagenetic Environments of Marine Carbonate Rocks of the Triassic in the Lower-Middle Yangtze Region. *Journal of Palaeogeography*, 2(04): 44—50 (in Chinese with English abstract).
- ### 附中文参考文献
- 白云风, 程日辉, 孔庆莹, 等, 2007. 下扬子地区晚白垩世浦口期沉积古地理及地质背景. 吉林大学学报(地球科学版), 37(4): 684—689.
- 安徽省地质矿产局, 1991. 安徽省区域地质志. 北京: 地质出版社.
- 湖北省地质矿产局, 1991. 湖北省区域地质志. 北京: 地质出版社.
- 湖南省地质矿产局, 1991. 湖南省区域地质志. 北京: 地质出版社.
- 江苏省地质矿产局, 1991. 江苏省及上海市区域地质志. 北京: 地质出版社.
- 浙江省地质矿产局, 1991. 浙江省区域地质志. 北京: 地质出版社.
- 蔡正全, 俞云文, 2001. 浙江白垩系上部地层的划分与对比. 地层学杂志, 25(4): 259—266.
- 曹钟清, 田邦生, 章平, 2006. 九瑞地区铜矿资源预测与勘查. 东华理工学院学报(增刊): 38—44.
- 陈公信, 金经纬, 等, 1996. 湖北省岩石地层. 武汉: 中国地质大学出版社.
- 程日辉, 白云风, 李艳博, 2004. 下扬子区三叠纪古地理演化. 吉林大学学报(地球科学版), 34(3): 367—371.
- 成都地质矿产研究所, 1994. 中国南方岩相古地理图集. 北京: 科学出版社.
- 杜建波, 何明喜, 张艳霞, 等, 2007. 下扬子北缘前陆盆地构造演化及沉积特征. 石油实验地质, 29(2): 133—137.
- 冯增昭, 鲍志东, 李尚武, 等, 1997. 中国南方早中三叠世岩相古地理. 北京: 石油工业出版社.
- 龚一鸣, 张克信, 2007. 地层学基础与前沿. 武汉: 中国地质大学出版社.
- 郭念发, 姚柏平, 吴群, 1999. 安徽无为盆地油气地质条件评价. 安徽地质, 9(4): 289—311.
- 中国地质科学院地质研究所, 1985. 中国古地理图集. 北京: 地图出版社.
- 郝治纯, 苏德英, 余静贤, 等, 2000. 中国地层典: 白垩系. 北京: 地质出版社.
- 黄其胜, 1984. 论安徽怀宁地区拉犁尖组归属问题. 地质评论, 30(1): 1—7.
- 季绍新, 王文斌, 刑文臣, 1990. 赣西北铜矿. 北京: 地质出版社.
- 李祥辉, 陈斯盾, 罗家洪, 等, 2011. 浙江西部建德群锆石 LA-ICP-MS 之同位素 U-Pb 年龄及其地层学意义. 地质评论, 57(6): 825—836.
- 李玉发, 姜立富, 1997. 安徽省岩石地层. 武汉: 中国地质大学出版社.
- 刘南庆, 1995. 从彭山地区的岩浆演化看其构造的发展史. 江西地质, 9(3): 205—217.
- 刘南庆, 黄剑凤, 1994. 关于彭山地区北北东向断裂及其控岩控矿作用. 地质与勘探, 30(5): 14—17.
- 马武平, 1997. 浙江省中生代晚期地层多重划分对比新认识. 中国区域地质, 16(2): 124—129.
- 马永生, 2009. 中国南方构造: 层序岩相古地理图集(震旦纪—新近纪). 北京: 中国科学出版社.
- 孟祥金, 徐文艺, 杨竹森, 等, 2012. 江西冷水坑矿田火山—岩浆活动时限: SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄证据. 矿床地质, 31(4): 831—838.
- 潘桂棠, 肖庆辉, 陆松年, 等, 2009. 中国大地构造单元划分. 中国地质, 36(1): 1—28.
- 钱迈平, 朱士鹏, 赵凤鸣, 1997. 江苏句容早三叠世鱼类化石之发现及其意义. 江苏地质, 21(2): 65—71.
- 尚彦军, 夏邦栋, 杜延军, 1999. 下扬子区侏罗纪—早白垩世盆地沉积构造特征及其演化. 沉积学报, 17(2): 188—191.
- 寿志熙, 1982. 中国东南部白垩纪火山岩系的划分与对比. 中国地质科学院南京地质矿产研究所所刊, 3(1): 1—15.
- 舒良树, 周新民, 2002. 中国东南部晚中生代构造作用. 地质论评, 48(3): 249—260.
- 舒良树, 周新民, 邓平, 2004. 中国东南部中、新生代盆地特征与构造演化. 地质通报, 23(9): 876—884.
- 宋传中, Lin, S. F., 周涛发, 等, 2010. 长江中下游及其邻区中

生代构造体制转换.岩石学报,26(9): 2835—2849.

王思恩,郑少林,于菁珊,等,2001.中国地层典:侏罗系.北京:地质出版社.

汪啸风,陈孝红,2005.中国各地质时代地层划分与对比.北京:地质出版社.

吴根耀,陈焕疆,马力,2002.苏皖地块——特提斯演化阶段独立的构造单元.古地理论,4(2):77—87.

吴根耀,马力,陈焕疆,等,2003.苏皖地块构造演化、苏鲁造山带形成及其耦合的盆地发育.大地构造与成矿学,27(4):337—353.

吴其切,杨文达,胡存礼,1984.苏皖及邻区上白垩统与下第三系的界线.中国科学(B辑),(7):645—657.

谢桂青,毛景文,李瑞玲,等,2006.长江中下游鄂东南地区大寺组火山岩 SHRIMP 定年及其意义.科学通报,51(19):2283—2291.

徐学思,1997.江苏省岩石地层.武汉:中国地质大学出版社.

薛怀民,董树文,马芳,2012.长江中下游庐枞盆地火山岩的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄:对扬子克拉通东部晚中生代岩石圈减薄机制的约束.地质学报,86(10):1569—1583.

闫吉柱,俞凯,赵曙白,等,1999.下扬子区中生代前陆盆地.石油实验地质,21(2):3—4.

杨明桂,王发宁,曾勇,等,2004.江西北部金属成矿地质.北京:中国大地出版社.

杨遵仪,张舜新,杨基端,等,2000.中国地层典:三叠系.北京:地质出版社.

叶舟,马力,梁兴,等,2006.下扬子独立地块与中生代改造型残留盆地.地质科学,41(1):81—101.

俞国华,1996.浙江省岩石地层.武汉:中国地质大学出版社.

余心起,王德恩,1999.皖南屯溪盆地陆相层序地层学特征.安徽地质,9(1):30—36.

曾艳涛,文志刚,宋焕新,2006.南陵一无为地区下三叠统海相烃源岩评价与标定.海相油气地质,11(4):34—38.

赵来时,童金南,Orchard,M.J.,等,2005.安徽巢湖地区下三叠统牙形石生物地层分带及其全球对比.地球科学——中国地质大学学报,30(5):623—632.

张旗,简平,刘敦一,等,2003.宁芜火山岩的锆石 SHRIMP 定年及其意义.中国科学(D辑),33(4):309—314.

张旗,焦守涛,吴浩若,2013.中国三叠纪古地势图.古地理论,15(2):181—202.

张万良,2000.盛源盆地火山岩系地层的时代归属.铀矿地质,16(2):99—101.

朱光,徐嘉炜,刘国生,等,1998.下扬子地区沿江前陆盆地形成的构造控制.地质论评,44(2):120—129.

朱光,刘国生,李双应,等,2000.下扬子地区盆地的“四层楼”结构及其动力学机制.合肥工业大学学报(自然科学版),23(1):47—52.

朱梅湘,张秀莲,王英华,2000.中下扬子区三叠纪海相碳酸盐岩成岩作用和成岩环境.古地理论,2(4):44—50.