

# 华南早中生代大地构造过程

徐先兵<sup>1</sup> 张岳桥<sup>2</sup> 贾 东<sup>1</sup> 舒良树<sup>1</sup> 王瑞瑞<sup>1</sup>

(1. 南京大学地球科学与工程学院, 江苏 南京 210093; 2. 中国地质科学院地质力学研究所, 北京 100081)

**摘要:** 华南地区早中生代经历了强烈的构造变形和岩浆活动, 构造动力体制发生了重大的转换。这个时期大地构造过程及其发生的构造动力学背景一直是地学界争议的焦点问题之一。本文在系统总结前人工作成果的基础上, 论述了华南早中生代构造变形样式和岩浆活动序列, 区分了印支构造事件和早燕山构造事件及其产生的地质效应。研究表明, 印支构造事件发生于中、晚三叠世(245~225 Ma), 构造运动产生的变形形迹主要表现为近东西向褶皱和冲断-推覆构造以及 NE-NNE 向左旋走滑韧性剪切, 其动力与华南-华北板块沿秦岭—大别造山带的陆-陆碰撞和华南地块南缘古特提斯洋的俯冲增生作用有关。这次挤压构造事件导致华南东部加里东褶皱基底强烈复活, 地壳重熔型花岗岩沿十万大山—云开大山—武夷山构造带和雪峰山地区分布。早侏罗世早期(205~190 Ma)在华南存在一个岩浆活动沉寂期, 早侏罗世晚期(190~180 Ma)沿南岭构造带发育具有伸展特征的 A 型花岗岩和双峰式火山岩。起始于中侏罗世晚期(~170 Ma)的早燕山构造事件, 在华南形成了宽 1300 km、NE-NNE 向褶皱逆冲构造系统, 地壳增厚作用和壳幔相互作用导致了软弱的华夏加里东褶皱基底的再次强烈复活, 诱发了强烈的岩浆活动, 东南沿海地区火山弧相继出现。这期构造事件记录了东部大洋板块向华南大陆之下低角度俯冲作用过程, 并主导了华南晚中生代一系列陆内构造和岩浆活动。

**关键词:** 早中生代; 褶皱逆冲推覆构造; 岩浆演化序列; 构造动力体制转换; 华南

**中图分类号:** P542.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3657(2009)03-0573-21

早中生代(三叠纪—侏罗纪)是华南乃至整个东亚大陆大地构造发生剧烈变动的时期, 也是东亚大地构造发展的重要转折时期<sup>[1-3]</sup>。华南早中生代构造演化历史复杂, 在动力作用方式、构造变形形迹以及形成时代等方面都存在着争议。华南大陆是由多个块体或地体拼合而成, 主要构造单元包括扬子地块、江南造山带、华夏地块、东南沿海岩浆-变质构造带等。华南大陆北部边缘为秦岭—大别—苏鲁碰撞造山带, 将华南地块与华北地块拼合在一起, 其西南边缘通过红河断裂与印支地块相连<sup>[4,5]</sup>。扬子地块和华夏地块于晚元古代碰撞拼合<sup>[6,7]</sup>, 华夏地块经历了加里东褶皱造山作用<sup>[8]</sup>, 并受到印支运动和燕山运动的强烈改造, 尤其燕山运动以压倒一切的优势对早期构造进行了改造和叠加, 隐蔽了前期构造变形形迹<sup>[9]</sup>。

研究表明, 华南地区中生代动力体制经历了从特提斯构造域向滨太平洋构造域的转换<sup>[10]</sup>, 但对这种动力体制转换发生的时间和转换产生的地质效应, 则存在不同的认识, 不同作者从地层接触关系、构造变形样式和岩浆记录等方面进行了论述。Huang<sup>[9]</sup>基于三叠系内部地层角度不整合面, 最早确定了华南地区印支运动的重要性。任纪舜等<sup>[10,11]</sup>通过野外调查, 发现华南地区印支运动十分强烈, 不仅表现为地台盖层的褶皱作用, 而且地台基底也不同程度的被卷入褶皱。而郭福祥<sup>[12]</sup>通过地层接触关系分析, 认为华南地区印支运动褶皱变形轻微, 主要表现为隆升、海退和原始沉积盆地的掀斜, 强烈的褶皱变形主要发生在燕山运动和喜山运动时期。Hsu et al<sup>[13-15]</sup>提出了扬子地块与华夏地块在中生代发生碰撞的华南阿

收稿日期: 2009-02-24; 改回日期: 2009-03-13

基金项目: 国家自然科学基金重点资助项目(40634022)和国家科技专项(SinoProbe-08)资助。

作者简介: 徐先兵, 男, 1983 年生, 博士生, 构造地质学专业; E-mail: bingge1018@126.com。

通讯作者: 张岳桥, 男, 1963 年生, 教授, 博士生导师, 从事构造地质、新构造和盆地分析研究; E-mail: zhangyueqiao@yahoo.com。

尔卑斯造山带碰撞模型, 来解释华南地区复杂的构造变形样式, 但该模型受到许多地质学家的质疑<sup>[16-18]</sup>, 日益累积的野外调查和高精度同位素年代学资料证实, 华南不存在中生代碰撞造山带, 而以陆内变形为主<sup>[6,19-21]</sup>。Wang et al<sup>[22]</sup>基于雪峰山地区构造变形的调查和研究, 提出一个陆内斜向俯冲模式来解释基底左旋走滑逆冲和盖层褶皱变形, 认为这个过程主要形成于中晚三叠世的印支运动时期。Li et al<sup>[23]</sup>分析了华南地区花岗岩类型和年龄, 提出了华南褶皱造山带形成的大洋板块平俯冲模型, 认为这个过程起始于晚二叠世末期, 古太平洋板块向华南大陆长距离的平俯冲导致了华南 1300 km 宽的褶皱造山带的形成, 并主导了华南晚中生代陆内变形过程。张岳桥等<sup>[24]</sup>则通过系统编图和叠加褶皱构造分析, 发现华南早中生代存在两个世代褶皱的横跨叠加, 认为早期近东西向褶皱构造具有南北成带、晚期 NE-NNE 向褶皱构造具有东西分区的区域展布特征, 并基于地层接触关系和早中生代岩浆岩和火山岩同位素年代学数据分析, 认为这两组叠加褶皱构造清楚地记录了华南早中生代两期挤压事件: 近东西向褶皱是对印支早期华南地块南北边缘碰撞造山事件和俯冲增生事件的远程响应, NE-NNE 向褶皱则起源于燕山早期(170±5 Ma)古太平洋板块向华南大陆之下低角度俯冲作用, 两者发生转换的时代在中晚侏罗世之交。这个分析结果与早期的研究认识<sup>[25]</sup>是一致的。

本文在前人工作成果分析的基础上, 通过对华南东部地区中晚泥盆世至中侏罗世地层与沉积环境、中生代火成岩活动以及变形记录的分析, 进一步梳理了华南大陆早中生代大地构造过程, 重点论述华南东部地区(雪峰山以东的地区)早中生代构造变形样式和岩浆活动序列, 区分了印支构造事件和早燕山构造事件及其产生的地质效应, 探讨了早中生代这两个主要构造事件发生的板块动力学背景。

## 1 华南晚古生代至早中生代地层概述

华南东部地区的褶皱基底经历了从华夏地块到华南加里东褶皱构造的演化过程<sup>[6]</sup>。加里东运动导致了前泥盆系沉积盖层的强烈褶皱和逆冲变形、前震旦系基底强烈改造、地壳重熔和岩浆活动。加里东构造运动之后, 从晚古生代至早中三叠世, 华南进入了稳定的准台地相发展阶段, 接受了新一轮沉积。这

套稳定型沉积地层遭受了早中生代印支构造和早燕山构造运动, 在华南东部地区形成两个构造-沉积层(tectono-sedimentary layer): 印支构造层和早燕山构造层。印支构造层由中泥盆世至早中三叠世地层组成, 以海相沉积为主、海陆交互相沉积次之; 早燕山构造层由晚三叠世和早中侏罗世地层组成, 以陆相沉积为主, 在广东沿海地带残留海陆交互相沉积, 局部地区夹火山岩层。这两个构造层的地区分布见图 1。从中可以看出, 印支构造层(D—T<sub>2</sub>)大片残留在华夏地块西部地区, 包括湘中、桂东、赣中、粤北等地区, 在闽西南地区也有部分残留。而早燕山构造层(T<sub>3</sub>—J<sub>1-2</sub>)以残留盆地的形式分布在华夏东部地区, 主要沿 NE 向武夷山构造带分布。浙闽沿海地带受到早白垩世火山岩的覆盖, 这两个构造层的分布情况不清楚。

### 1.1 印支构造层(D—T<sub>2</sub>)

在华南加里东褶皱构造面上, 沉积一套高成熟度、穿时的泥盆系石英质砂砾岩地层, 在广西为早泥盆世莲花山组, 湘中为泥盆纪跳马涧组, 江西为晚泥盆世—早石炭世的峡山群, 闽西为晚泥盆世—早中石炭世天瓦栋组、林地组和黄龙组<sup>[11]</sup>(图 2)。早泥盆世沉积仅在桂西南地区发育, 自下往上由陆源碎屑变为碳酸盐岩, 沉积环境由碎屑岩潮坪演变为混积陆棚、碳酸盐台地<sup>[26]</sup>。中泥盆世海侵向北、向东扩展到川东、鄂西、湘中、赣西及闽粤一带, 晚泥盆世海侵范围进一步扩展到下扬子地区, 而东南沿海浙闽粤地区一直为隆起古陆<sup>[27,28]</sup>。

石炭纪海平面变化频繁, 华南整体上处于碳酸盐台地的扩张阶段, 海域范围与泥盆纪基本相同<sup>[29]</sup>, 东南沿海浙闽粤地区仍为隆起古陆<sup>[27]</sup>。湘中南地区石炭系分布广泛, 发育完整, 除测水段为含煤碎屑沉积之外, 其余均为浅海碳酸盐岩沉积, 厚逾 2000 m, 系内各统、阶与段之间多为连续沉积, 局部可见超覆现象。在江西中部, 石炭系发育最好, 由西往东, 从海相至陆相, 呈现明显的沉积超覆。向东至宜春、安福一带, 表现为陆相为主夹海相层, 与泥盆系呈连续过渡关系。再东至泰和、峡江、丰城及其以东的部分地带, 早石炭世地层几乎全部相变为陆相沉积, 仅顶部发育海相地层。在铅山—广丰及其南部地段, 黄龙期以海相为主的海陆交互相沉积, 发育灰岩或硅质岩夹层, 称为藕塘底组。赣南及武夷山中南段, 早石炭世沉积以陆相为主, 夹少量海相碎屑岩, 为一含煤建

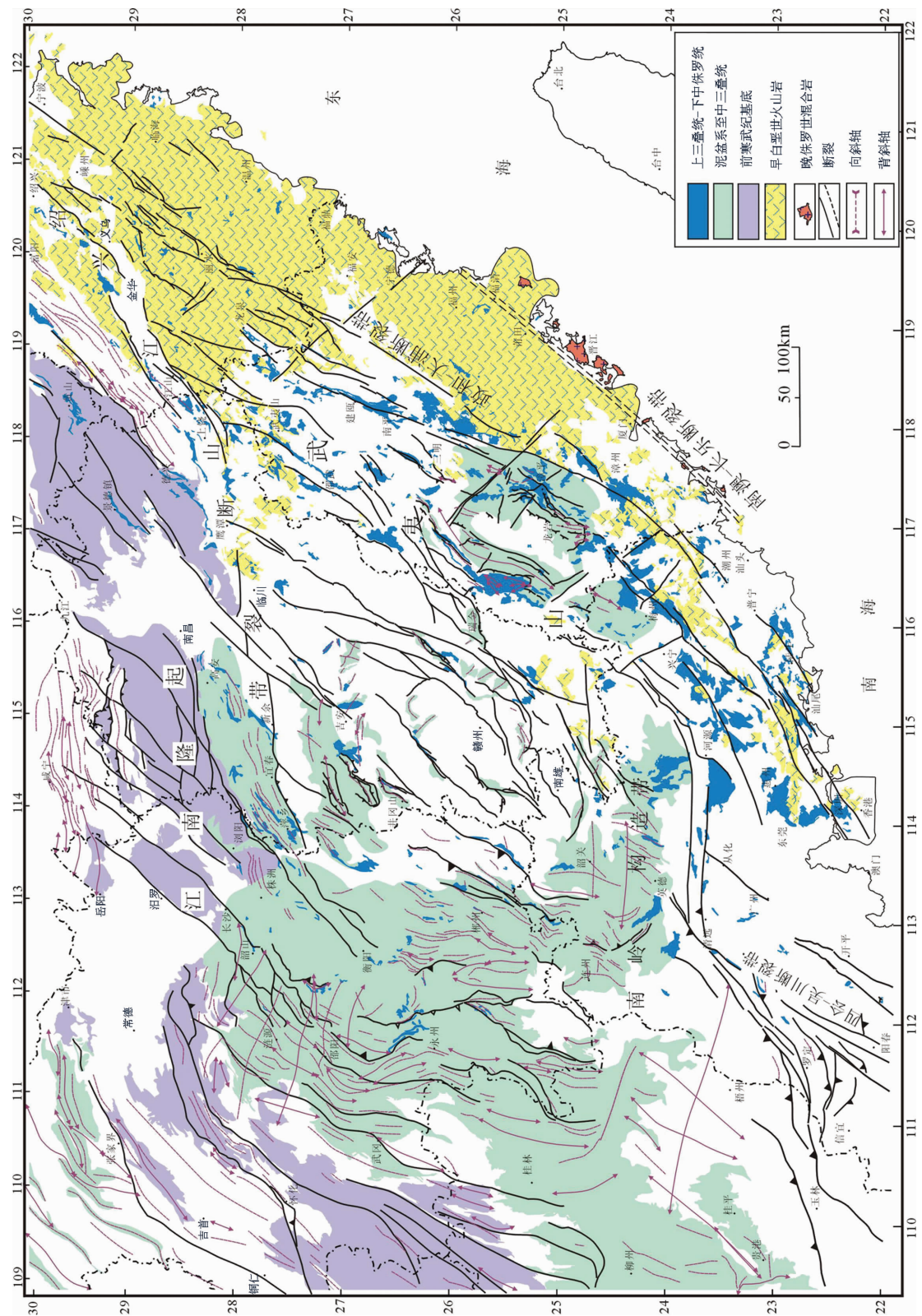


图 1 华南东部地区早中生代构造-沉积层分布纲要图  
Fig.1 The distribution of early Mesozoic tectono-sedimentary layers in the eastern part of South China

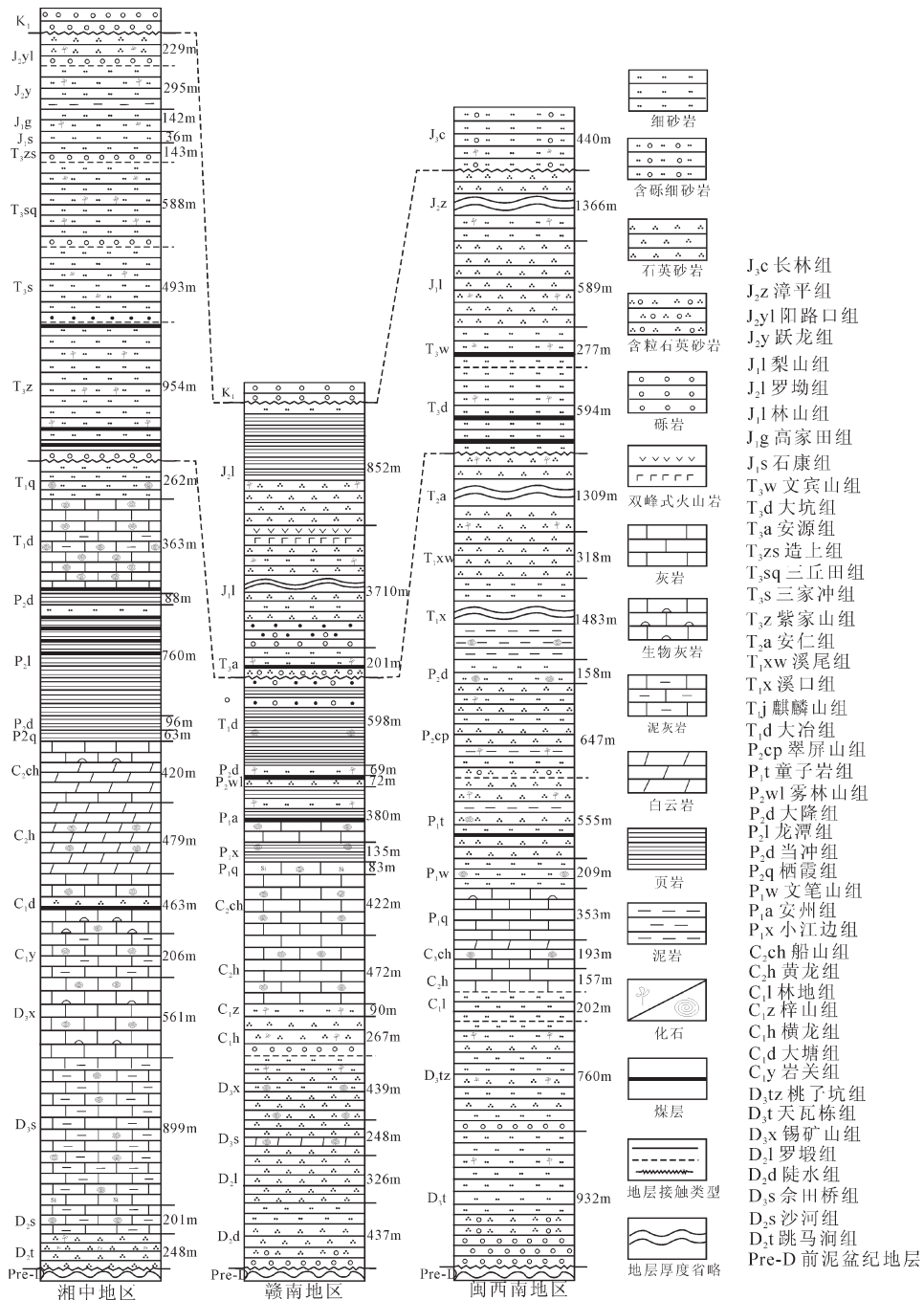


图2 华南晚古生代—早中生代地层柱状图

Fig.2 Column of Late Paleozoic-Early Mesozoic strata

造,可划分为横龙组和梓山组。三南地区早石炭世以海相为主夹陆相的含煤建造,碳酸盐岩较发育,同样也划分为岩关组和大塘组。上石炭统与全区相同,与上覆二叠系和下伏泥盆系均为整合接触。在福建,下石炭统称为林地组,广泛发育于闽中及闽西南,早

期为一套陆相碎屑岩建造,晚期为海陆交互的碎屑岩建造。中石炭统为黄龙组或经畲组,分布零星,主要分布在闽西南,为正常浅海相碳酸盐沉积与滨海相碎屑岩沉积,前者称为黄龙组,后者称为经畲组。晚石炭世,海侵范围扩大,西部地区船山组常与

黄龙组或经畚组为连续沉积,而在建宁、三明一线以北、大田、漳平一线以东以及明溪、上杭相对隆起地带,船山组则超覆在林地组之上。

早二叠世对华南整体而言,是组建碳酸盐大陆架的第二阶段,海侵推移到扬子克拉通上<sup>[29]</sup>。湘中南的邵阳—耒阳地区,二叠系自底至顶都是连续沉积,底部无含煤碎屑岩。新化—浏阳地区,二叠系与石炭系呈整合接触。二叠系底部无含煤碎屑岩,上统下部为含煤碎屑岩,且上、下统之间有明显沉积间断,下统上部为碳酸盐岩而非含铁锰质硅质岩,上统上部大多为碳酸盐岩而非硅质岩。在赣中南地区,二叠系以滨海碎屑岩含煤建造为主的沉积类型。在福建龙岩地区,下二叠统层自下而上分为文笔山组和童子岩组。文笔山组岩性属正常浅海相沉积,而童子岩组岩性属海陆交互沉积,含煤;童子岩组上覆的地层为上二叠统的翠屏山组,底部以一层细砾岩或含砾粗砂岩与童子岩组呈假整合接触。广东花县—恩(平)开(平)台(山)地区,二叠系沉积与龙岩地区相似。二叠纪地层内部表现为区域平行不整合,被称为东吴运动,时限与峨眉山玄武岩喷发年龄相近,均表现为上升运动<sup>[30,31]</sup>。

二叠纪末—早三叠世早期,发生一次全球性大海进<sup>[32,33]</sup>,形成闽粤浅海和湘桂海槽,但浙东—闽北、广东河源地区和云开地区为隆起<sup>[27,28]</sup>。湘中南地区中下三叠统零星出露,下统以浅海相碳酸盐为主,中统为浅海相至滨海相碳酸盐岩及碎屑岩。江西省三叠纪地层分布尚广,但发育很不平衡。早三叠世沉积为浅海相泥砂质—碳酸盐岩建造。中三叠世仅见于省区北部和中部,北部地区为碳酸盐岩建造,中部地区则为海相夹陆相层的海陆交互相泥砂碎屑岩建造。

## 1.2 早燕山构造层(T<sub>3</sub>—J<sub>1-2</sub>)

早燕山构造层由上三叠统和中下侏罗统陆相地层组成,受到燕山运动强烈褶皱改造,该构造层主要残留在武夷山及其两侧地带。在华南大部分地区,上三叠统以平行或微角度不整合在中生代海相地层之上;沿东南沿海地区,早白垩世火山岩不整合覆盖在早燕山构造层之上。早燕山构造层上、下两个地层界面分别代表了华南地区印支构造和早燕山构造运动面。早燕山构造层明显不同于印支构造层沉积,以湖相和山麓相沉积为主,底部为一套粗碎屑岩沉积,在粤东沿海地区还表现为局部浅海相和海陆交互相沉积,显示中三叠世印支运动之后,华南全区基本上由

海相沉积向陆相转变,仅在局部地区保留了海相沉积<sup>[34-37]</sup>。

晚三叠世沉积在华南分布较零星,在湖南上三叠统主要出露在湘东—湘中地区和资兴地区,以石英砂岩,粉砂岩和泥岩为主,夹煤层<sup>[38]</sup>。在赣南,晚三叠世地层主要分布在信丰等地区,岩性为砂岩、粉砂岩及炭质泥岩,夹炭质粉砂岩及煤层,下部石英粗砂岩发育,夹砾岩和含泥岩,底部为含砾粗砂岩及砾岩。在福建,上三叠统主要残留在闽西及闽北地区,分为文宾山组和焦坑组,为一套砾岩层,含砾粗砂岩,中细粒长石石英砂岩,向上变为粉砂岩和泥岩,间夹炭质页岩、煤线或煤层,与下伏地层呈角度不整合接触,夹火山岩层<sup>[39]</sup>。

在湘东南地区,侏罗系发育较差,中下侏罗统之间无明显界线,以长石石英砂岩、粉砂质泥岩和砂质泥岩为主。在赣中—赣南地区,下侏罗统沉积发育在由北北东向断裂控制的盆地之中,为灰白色、灰黄色中粗粒长石石英砂岩,含砾砂岩,黄绿、灰黄及黄褐色粉砂岩,粉砂质泥岩,泥质粉砂岩,细砂岩及泥岩等。上部一般发育紫红、灰紫色及棕紫色粉砂岩和泥岩等,常与上述黄绿色岩层构成杂色条带,底部的粗碎屑岩与下伏地层多呈不整合接触<sup>[40]</sup>。中统罗坳组以中—细粒长石石英砂岩和粉砂岩为主,底部含砾,上部夹凝灰质砂岩,与上统林山组不整合接触<sup>[41]</sup>。在福建,上三叠—下侏罗统底部主要为粗粒石英砂岩和石英砾岩,与下伏地层不整合接触,向上变细,顶部为粉砂岩和泥岩夹煤层、煤线<sup>[39]</sup>。中侏罗统漳平组岩性为杂色细砂岩、石英砂岩、粉砂岩夹泥岩、长石石英砂岩、含砾砂岩,局部夹钙质结核和煤线。在广东,侏罗系主要在粤东、粤中、粤北零星出露<sup>[42]</sup>。下统下部为金鸡组,以中粒长石石英砂岩、灰黑色泥质粉砂岩、粉砂质泥岩为主,顶部见类复理石韵律,为一套深湖—浅海相细碎屑岩建造;下统上部称桥源组,底部为含同生泥砾的长石石英砂岩,向上为细粒长石石英砂岩、粉砂岩、泥岩组成的韵律层,上部夹炭质页岩,为一套海退序列碎屑岩建造。中侏罗统岩石组合揭示两类不同的沉积环境:粤东区为漳平组,分布于东莞、惠阳、五华、大埔等地,以紫红色含凝灰质碎屑岩为主,为湖相沉积环境;粤北区为马梓坪群,出露于曲江马梓坪、怀集高山顶、连平麻笼嶂等地。岩石成分随地而异,属于山间盆地沉积环境<sup>[41]</sup>。

## 2 早中生代构造事件及其变形样式

早中生代构造运动使华南从海相环境转变为陆相<sup>[43]</sup>,进入陆内造山阶段<sup>[44]</sup>,沉积盖层发生广泛的褶皱和冲断变形,基底发育韧性剪切变形,地壳发生不同程度的增厚。受到晚中生代岩浆和火山活动的破坏改造,华南东部早中生代不同期次的构造形迹往往难以区分,为此需要识别和厘定华南早中生代构造事件、变形样式、叠加关系和发生时限,这是探讨华南早中生代大地构造过程的关键。

根据华南晚古生代—早中生代地层的发育特征和接触关系,华南存在两期主要挤压构造事件,分别以上三叠统或下侏罗统与下伏的海相地层之间的微角度不整合和上侏罗统下白垩统火山—沉积岩与下伏的上三叠统—中侏罗统之间的角度不整合为标志,分别称为印支构造事件和早燕山构造事件。印支构造事件主要发生在中晚三叠世之交,早燕山构造事件发生在中晚侏罗世之交。早中生代构造事件导致华南地区广泛的陆内变形,其主要变形样式包括盖层的褶皱和逆冲作用、基底韧性剪切等。由于不同构造事件产生的变形形迹的叠加和改造作用,使早中生代构造变形样式呈现错综复杂。

### 2.1 盖层褶皱变形

华南地区印支构造层和早燕山构造层发育不同类型、不同方向的褶皱构造。张岳桥等<sup>[24]</sup>通过区域编图和关键地区叠加褶皱分析,发现华南晚古生代—早中生代构造层中发育两个世代的褶皱构造(图3),早期褶皱构造轴线呈近东西向带状分布,主要发育在印支沉积构造层中,典型的褶皱带有:扬子前陆褶皱带、江南褶皱带、南岭褶皱带等;晚期褶皱构造线走向以 NE—NNE 向为主,在印支构造层和早燕山构造层均有发育,其分布呈东西分区的特征。在湘—桂—粤—赣褶皱区,晚期褶皱与早期褶皱横跨叠加,横跨叠加型式包括盆—穹构造、早期褶皱轴面的弧型弯曲或再褶皱等。在浙闽褶皱区,受北东向的江山—绍兴断裂控制,两个褶皱世代产生同轴叠加。基于褶皱地层的卷入关系以及岩体接触关系分析,发现早期东西向褶皱控制了早印支期岩体的展布(侵位时代为 240 Ma 左右);晚期褶皱卷入的最新地层为中侏罗统砂岩,并被晚侏罗世花岗岩所侵入(湘南骑田岭岩体锆石 SHRIMP 年龄为 155~161 Ma<sup>[45]</sup>;闽西河田岩体锆石 LA-ICPMS U—Pb 年龄为

152~153 Ma<sup>[46]</sup>),确定晚期褶皱构造形成时代早于 160 Ma。早期东西向褶皱由于受到晚期褶皱的改造,其构造组合型式不明显。晚期褶皱在湘中湘西地区表现为受基底和断裂控制的隔挡式褶皱<sup>[47]</sup>,而在闽西南地区表现为盖层开阔褶皱。

### 2.2 逆冲断裂

早中生代构造事件使华南地区基底断裂强烈活化,形成新的逆冲断裂系统。华南早中生代逆冲断裂主要发育在云开大山地区、雪峰山地区和浙西北地区以及武夷山地区。在云开大山的北缘和东缘发育大量的逆冲断层,原地系统为泥盆系和(或)石炭系,外来系统为前震旦系、震旦系和寒武系,在北缘由南往北逆冲,而南缘则由北往南逆冲<sup>[48]</sup>,促进桂东南地区麻粒岩形成<sup>[49]</sup>。邵建国等<sup>[50]</sup>对云开地区南北缘 3 个逆冲断裂带中新生白云母进行 <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar 测年,获得的冷却年龄分别为 (255±3.0) Ma、(249.7±2.6) Ma 和 (229.4±2.5) Ma。结合逆冲构造卷入的最新地层为泥盆系—石炭系,并均被燕山期地质体所侵入<sup>[48]</sup>,可以确定云开地区的逆冲活动时间在印支运动早期。

雪峰山呈北东—北北东向带状展布于湖南中西部,发育 3 条具左旋走滑的逆冲断裂带,分别为靖县—溆浦断裂带,通道—安化断裂带和城步—新化断裂带<sup>[2]</sup>。其中,靖县—溆浦断裂带由若干平行的逆冲断层组成,总体为北东转北北东向延伸,倾向东,倾角在 70°左右,表现为上盘基底岩系依次向北西方向逆冲,其中获得的全岩和单矿物黑云母 <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar 坪年龄分别为 (194.7±0.3) Ma 和 (216.9±0.3) Ma<sup>[22,51]</sup>。通道—安化断裂带由一系列走向北北东、倾向北西、倾角约 55°的韧性逆冲断层组成,断层岩多硅白云母 <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar 坪年龄指示其形成于 (207.2±0.2) Ma<sup>[22,51]</sup>。城步—新化断裂带沿雪峰山东南缘弧形延伸,呈北北东—北东东向,下古生界顺断裂带呈弧形线状延伸,构成轴面倾向北西的倒转褶皱。断裂带中新生白云母和多硅白云母 <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar 坪年龄分别为 (215.3±0.8) Ma 和 (213.5±0.2) Ma<sup>[22,51]</sup>。从上述这些基底断裂变形年龄数据可以看出,雪峰山地区具左旋走滑的逆冲断裂带主体形成于印支运动晚期。

在浙西北地区,主逆冲断裂带为江山—绍兴断裂带和赣东北断裂带,走向 NE,倾向 SE,向 NW 逆冲,卷入的最新地层为中下侏罗统砂岩,推断其在燕山早期有强烈活动<sup>[52,53]</sup>。在武夷山地区,根据煤田勘探资料,逆冲断层非常发育(图 4),可以分为两期,

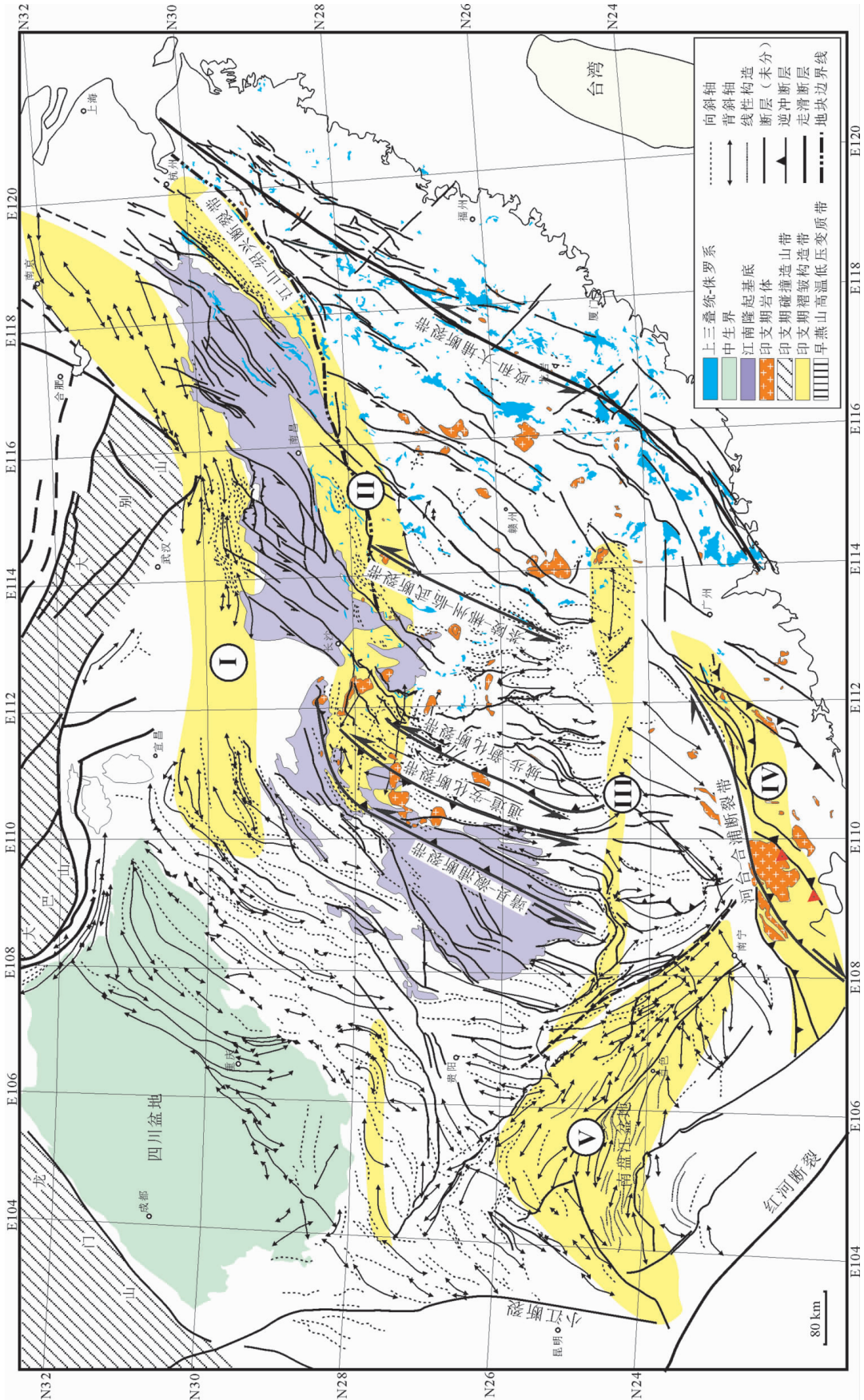


图 3 华南早中生代构造纲要图  
 印支期褶皱构造带; I—扬子前陆褶皱带; II—江南褶皱带; III—南岭褶皱带; IV—十万大山-云开大山逆冲-推覆构造带; V—南盘江褶皱带  
 Indosinian fold belt; I — Yangtze foreland fold belt; II — Jiangnan fold belt; III — Nanling fold belt; IV — Shiwani Mountains—Yunkai Mountain fold-and-thrust belt; V — Nannpanjiang fold belt

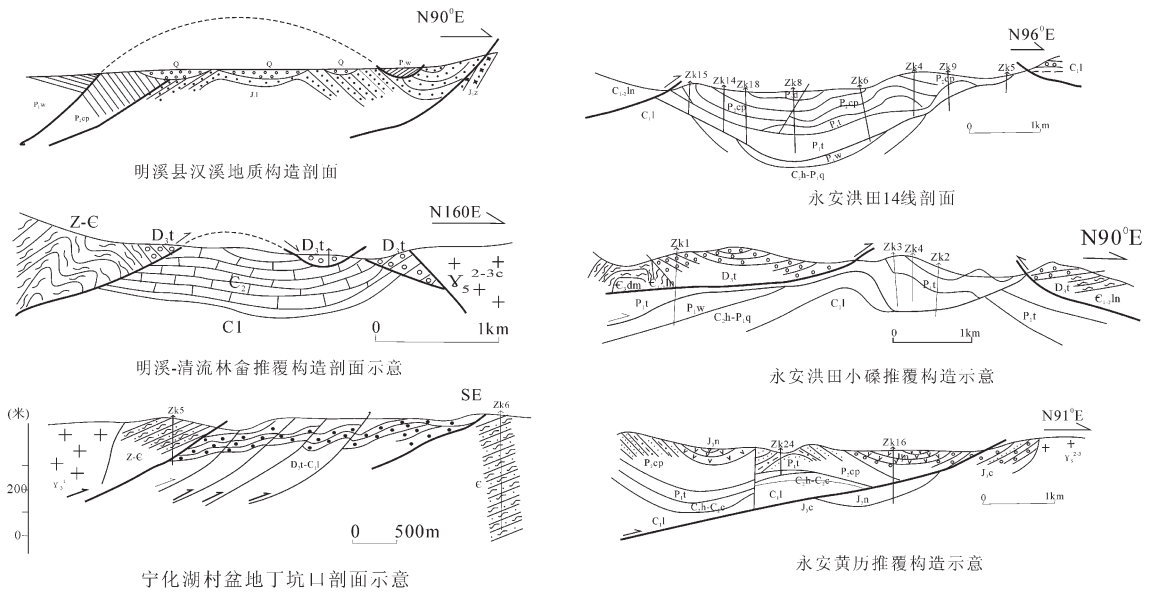


图4 武夷山地区逆冲断层剖面图(据文献[55,56,61]修改)

Fig.4 Cross sections showing reverse faults in the Wuyi Mountain area (after references [55,56,61])

印支期逆冲断层分布在松溪—长汀断裂带以西地区,卷入的最新地层为上三叠统溪口组,并为下侏罗统梨山组地层所不整合覆盖和被燕山早期岩体侵入;早燕山期逆冲断层分布在松溪—长汀断裂带以东地区,影响的最新地层为侏罗系梨山组或漳平组,并被上侏罗统林山组地层不整合覆盖和燕山早期岩体侵入<sup>[54,55]</sup>。在闽西童坊和里田地区,中上泥盆统石英砂砾岩由NW向SE逆冲于玮埔岩体之上。宁化湖村盆地的钻进资料也表明其逆冲断裂倾向NW,向SE逆冲<sup>[56]</sup>。在闽西南回龙地区,前泥盆纪、晚古生代地层向北西逆冲,卷入的最新地层为漳平组,逆冲根部又被晚侏罗世花岗岩侵入,断层活动时间为中晚侏罗世<sup>[57]</sup>。武夷山地区虽然也发育一些由SE向NW的逆冲断层,但数量少、分布局限,主要活动时期在晚燕山阶段<sup>[58,59]</sup>。福建省发育的逆冲断裂,起始于印支期,鼎盛于燕山早期<sup>[59,60]</sup>。

总体来说,华南早中生代逆冲断层以江山—绍兴—茶陵—郴州—临武断裂带为界,断裂带之北西向NW逆冲,而南东向SE逆冲,总体呈扇形展布。

### 2.3 基底韧性剪切作用

华南东部地区发育数条NNE向大型断裂带,从东往西依次为长乐—南澳断裂带、政和—大埔断裂带、邵武—河源断裂带、郴州—临武断裂、安化—

罗城断裂带。其中,茶陵—郴州—临武断裂为一条陆内俯冲带,向北与江山—绍兴断裂相连,控制了华南中生代构造格局和岩浆活动的分布。黑水—台湾地学大断面地球物理资料显示其为一条超壳深大断裂<sup>[62]</sup>,在断裂带两侧,逆冲构造的运动方向相反,基性岩浆地球化学特征不同<sup>[63,64]</sup>,并成为晚中生代火山岩分布的西界。

华南早中生代韧性走滑剪切带在雪峰山地区、云开地区、琼西南地区和浙西南地区均有较好的运动学和年代学制约,在政和—大埔断裂带的中段后坪—大洛地区也见报道。雪峰山韧性剪切带呈NE向展布,运动学分析显示以左旋走滑为主,兼逆冲的特征,白云母和多硅白云母<sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar坪年龄为217~195 Ma<sup>[2]</sup>。云开地区发育NE向合浦—河台韧性剪切带,运动学分析指示右旋走滑特征,对3个样品的新生白云母单矿物进行<sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar年龄测试,获得的冷却年龄分别为(213±4)Ma、(192±4)Ma和(187±4)Ma<sup>[65]</sup>,指示剪切活动发生在晚三叠世晚期和早侏罗世早期。琼西南发育戈枕和冲卒岭两条韧性剪切带,主体呈NE向展布,具左旋走滑兼向南东逆冲特征,在戈枕韧性剪切带中获得的黑云母单矿物<sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar年龄为(227.4±0.2)Ma,在冲卒岭韧性剪切带中获得的白云母单矿物<sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar年龄为(229.6±0.3)



Ma<sup>[64]</sup>。在距戈枕和冲卒岭韧性剪切带不远的公爱地区,还发育配套的 NW 向韧性走滑剪切带,具右旋走滑特征,在韧性剪切带中获得的糜棱岩白云母 <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar 年龄分别为 (249.7±1.0)Ma 和 (247.6±1.0)Ma<sup>[65]</sup>。浙西南韧性走滑剪切带呈 NE 向展布,具左旋走滑特征<sup>[68]</sup>,对糜棱岩带中 3 个样品进行单矿物 <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar 测年,其中灵山超基性岩中金云母坪年龄为 (230.5±1.5)Ma,交塘糜棱岩中多硅白云母坪年龄为 (237.6±1.3)Ma,小查田糜棱岩中钾长石等时线年龄为 (221±10)Ma<sup>[69]</sup>。后坪—大洛韧性剪切带呈 NNE 向展布,具左旋走滑特征,根据交切关系,推测其形成于印支运动晚期<sup>[70]</sup>。

综上所述,华南早中生代韧性走滑剪切带总体呈 NE 向展布,以左旋走滑活动为主,矿物测年分析结果确定其活动时代为印支期。

### 3 早中生代火成岩活动序列

华南早中生代火成岩主要分布在雪峰山以东的华南东部地区,即华夏加里东褶皱构造区。岩性以花岗岩为主,少量双峰式火山岩和玄武岩。随着高精度测年技术的运用,锆石 SHRIMP U-Pb 和 LA-ICPMS U-Pb、单颗粒锆石 U-Pb 法以及 <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar 年龄数据的积累,使建立华南地区早中生代岩浆活动序列成为可能。统计结果显示(图 5),早中生代火成岩浆活动具明显的阶段性,高精度年龄数据集中分布在 250~205 Ma、190~175 Ma 和 165~145 Ma 3 个年龄段,分别对应着印支期花岗岩、早中侏罗世火成岩及中晚侏罗世花岗岩。这 3 个岩浆活动期被两个岩浆活动间隙期所分隔,分别为 205~190 Ma、175~165 Ma。下面对每一个岩浆活动期的基本特征

做一简单介绍。

#### 3.1 印支期花岗岩

印支期花岗岩主要分布在湖南,其次是广西、海南、广东、江西和福建,总体呈面状分布<sup>[71]</sup>(图 6)。统计结果显示,大约 60%的印支期花岗岩为强过铝质,属 S 型花岗岩,含白云母、石榴子石和堇青石等高铝矿物<sup>[72]</sup>,地球化学表明其物源组分为泥质岩石;其余为准铝质花岗岩,具 I 型花岗岩的亲缘性,其物源为混合型,包括泥质、玄武质岩石以及明显的幔源岩浆组分<sup>[73]</sup>。印支期花岗岩可以分为两期,早期花岗岩形成的峰期年龄大约为 240 Ma,约占印支期花岗岩的 10%,以发育片麻理为主要特征,是在华南地壳增厚的基础上由地壳物质部分熔融形成的,即由加厚陆壳中含水矿物脱水熔融形成<sup>[73]</sup>。晚期花岗岩形成于 220 Ma 左右,约占印支期花岗岩的 90%,以中粒结构、块状构造为特征,由后碰撞的岩浆底侵作用形成的热对流触发而形成<sup>[71]</sup>或在碰撞峰期之后的应力松弛/伸展阶段的降压导水条件下形成<sup>[72]</sup>。由此可见,早印支期花岗岩形成于挤压构造环境地壳增厚的部分熔融作用,晚印支期花岗岩形成于后碰撞伸展环境<sup>[64]</sup>。印支期花岗岩呈面状分散于华南内陆地区,在扬子地块内几乎不发育。多数起源于受风化作用的稳定古老时代的变质岩形成的碎屑岩<sup>[71]</sup>,这种面状分布模式可能是由于强烈的加里东造山运动使华南基底变质岩发生不均一升降和差异运动<sup>[73]</sup>,之后经风化剥蚀,分散沉积于各处,最后经地壳循环形成印支期花岗岩。

#### 3.2 早中侏罗世火成岩

早侏罗世火成岩包括双峰式火山岩和 A 型花岗岩以及碱性正长岩,主要分布在湘南—赣南—闽西—粤北地区,沿南岭东西向构造带展布(图 7),少量沿江—绍断裂带西段发育。在双峰式火山岩中,玄武岩和流纹岩几乎各占一半,形成于陆内裂谷环境<sup>[64]</sup>,形成时代为 183~175 Ma,属早中侏罗世火山活动<sup>[46]</sup>。A 型花岗岩与碱性正长岩同样发育于赣南—粤北地区,与双峰式火山岩相毗邻,如柯树北 A 型花岗岩<sup>[23]</sup>(189±3 Ma)、寨背 A 型花岗岩<sup>[76]</sup>(176±10 Ma)以及塔背正长岩<sup>[77]</sup>(188.6±2.2 Ma)和黄埠正长岩<sup>[78]</sup>(179.3±1.0Ma)。早侏罗世双峰式火山岩、A 型花岗岩以及正长岩无一例外地指示本区处于伸展背景<sup>[64,79,80]</sup>。本带还发育中侏罗世基性岩浆岩,包括白面石玄武岩<sup>[81]</sup>(173±5.5Ma)、长城岭玄武岩<sup>[82]</sup>(178±

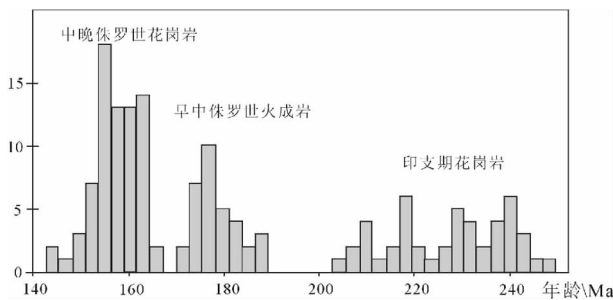


图 5 华南早中生代火成岩年龄数据直方图  
(年龄数据来自文献<sup>[23,24]</sup>及其参考文献)

Fig.5 Histogram showing ages of Early Mesozoic magmatic rocks in South China (data from references<sup>[23,24]</sup>)

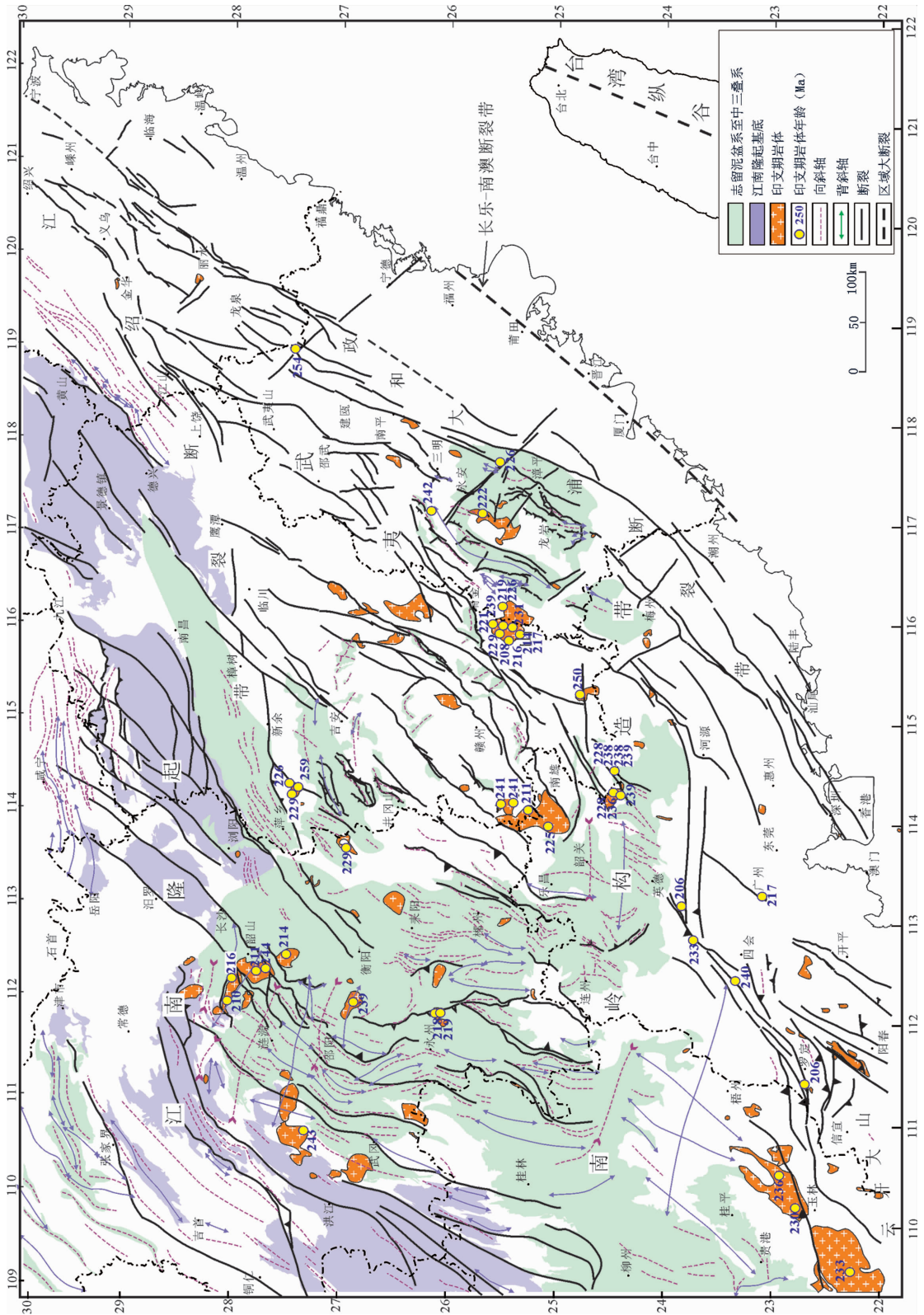


图 6 华南东部地区印支期花岗岩分布  
 Fig.6 Distribution of Indosinian granites in the eastern part of South China

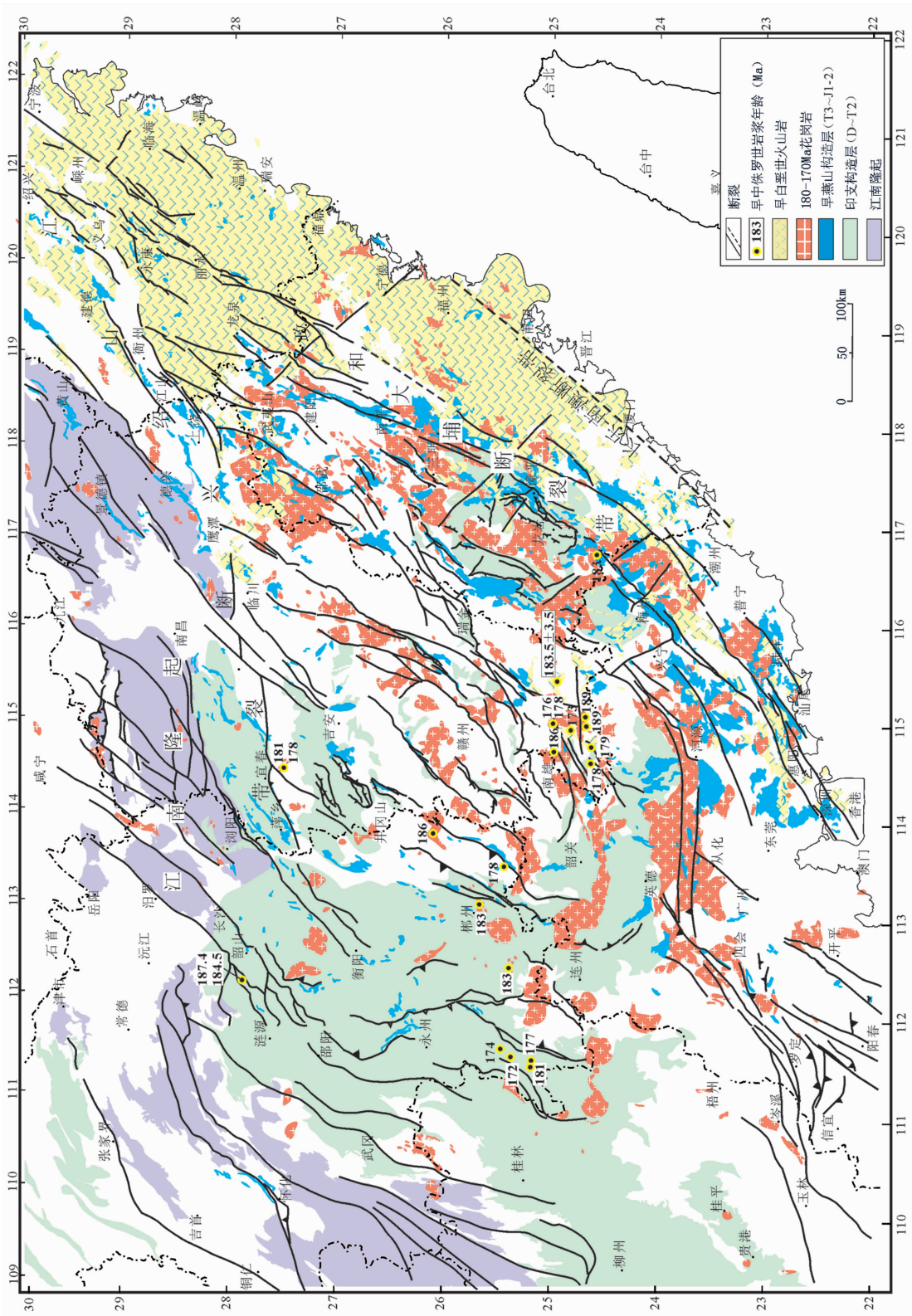


图 7 华南东部地区早中侏罗世火成岩年龄分布  
 Fig.7 Distribution of Early-Middle Jurassic magmas in the eastern part of South China

3.6Ma)、宁远玄武岩<sup>[83]</sup>(170~174 Ma)和回龙迁煌斑岩<sup>[63]</sup>(169~172 Ma)以及车步辉长岩<sup>[83]</sup>(172.9±4.3Ma)、梅州辉长岩<sup>[85]</sup>(178.7±3.9Ma),这些成带状分布的基性岩浆活动是在板内伸展构造背景下,软流圈上涌作用的结果<sup>[78]</sup>。早侏罗世至中侏罗世初期,湘南—赣南—闽西—粤北地区处于伸展构造环境。

### 3.3 晚侏罗世花岗岩

华南晚侏罗世岩浆活动以花岗岩为主,但在湘中和东南沿海地区报道有晚侏罗世火山岩发育,包括湖南道县玄武岩<sup>[83]</sup>(151~155Ma)、香港 Lantau 火山岩群<sup>[85]</sup>(~164 Ma,)和福安社口安山岩<sup>[86]</sup>(162.3±3.7 Ma)。中晚侏罗世花岗岩主要分布在南岭地区,发育 3 条近东西向相互平行的花岗岩带(图 8),花岗岩侵位年龄在 165~144 Ma。对华南晚侏罗世花岗岩的性质,目前还存在不同的看法。Zhou et al<sup>[64]</sup>认为绝大多数晚侏罗世花岗岩的 ACNK 小于 1.1,属于钙碱性 I 型花岗岩。李献华<sup>[87]</sup>认为,晚侏罗世花岗岩在 Sr-Nd 相关图上主要落在大的负  $\epsilon_{Nd}(t)$  值,高  $^{87}Sr/^{86}Sr$  初始值的第四象限内,长石的 Pb-Pb 体系也与加里东期的壳型花岗岩一致,是区域挤压环境下地壳重熔形成的大面积 S 型花岗岩。对广东中部的晚侏罗世花岗岩进行研究后,认为其主要是以 I 型花岗岩为主<sup>[88]</sup>。不管是 I 型花岗岩还是 S 型花岗岩,均属于钙碱性花岗岩,在一定的条件下还可以构成复式花岗岩体<sup>[80]</sup>。最近的研究表明,晚侏罗世花岗岩还发育为数不少的 A 型花岗岩<sup>[23,88,89]</sup>。由此可见,华南晚侏罗世花岗岩主要以 I 型花岗岩为主,发育一部分 A 型花岗岩和少部分 S 型花岗岩,以钙碱性花岗岩为主,其大地构造背景与大洋板块俯冲作用所形成的伸展型活动大陆边缘有关<sup>[64,90]</sup>。

## 4 讨 论

### 4.1 华南印支运动的性质和大地构造背景

华南大陆印支构造运动已为许多地质学家所公认,印支运动具有划时代的意义<sup>[9]</sup>。但对其构造运动性质、构造变形强度、动力作用方式等问题,则存在不同的诠释,提出了不同的构造动力学模式。诚然,印支运动最显著特征是发育具片麻状构造的地壳重熔型花岗岩(约 240 Ma)和呈面状分布的后造山期伸展型花岗岩。由于受到燕山运动强烈叠加改造,印支运动产生的构造线方向和构造变形强度,则存在不同的认识。许多学者强调,华南主要构造线方向

(NE-NNE-SN)形成于印支运动,其动力作用或与华夏地块和扬子地块的碰撞造山作用有关<sup>[13-15,53]</sup>,或与大洋板块向华南大陆俯冲作用有关<sup>[23,64]</sup>。前一种碰撞造山模式已为大多数地质学家所否定,而后一种俯冲造山模式日益受到地质学家的青睐。在 Li et al<sup>[23]</sup>提出的大洋板块平俯冲模型中,将华南地区 1300 km 宽的褶皱造山带的形成归结为古大洋板块向华南大陆之下平俯冲的结果,认为这种平俯冲作用起始于晚二叠世末期,并主导了华南地区印支运动和燕山运动的构造-岩浆事件。但是,这个主要依据岩浆岩的研究成果提出的平俯冲模型,正在受到来自构造地质学研究结果的挑战。

构造地质学研究结果表明,华南印支运动产生的褶皱构造线方向主要为近 W-E 向<sup>[24, 25, 91]</sup>,指示印支期变形的挤压应力方向为近南北向。华南东部地区 NE—NNE 向韧性走滑剪切带的研究结果显示其运动学以左旋走滑为主<sup>[22,66,68,70]</sup>,云开大山地区主要断裂构造的逆冲方向也指示由北向南,这些运动学指向一致地表明华南地区印支构造运动受到近南北向构造挤压,而并非平俯冲模型认为的 NW-SE 或近 W-E 向挤压。这个事实说明,华南大陆印支运动的动力来自华南地块南北边缘的板块边界,而不是来自华南大陆东部陆缘边界。众所周知,华南与华北地块沿秦岭—大别—苏鲁构造带于三叠纪发生碰撞造山,形成著名的超高压变质带<sup>[92-94]</sup>,在其南缘扬子地块上形成著名的前陆褶皱构造带。华南大陆南缘的板块俯冲削减和增生作用主要记录在越南和琼中地区。在东南亚,Sibumasu 地块向印支地块的碰撞增生,产生了 258~243 Ma 构造-热事件<sup>[4,5]</sup>。古特提斯洋在琼中地区发生消减关闭,在海南形成 I 型花岗岩<sup>[95,96]</sup>。所有这些事实均表明,华南印支期陆内构造变形是华南大陆南北边缘大陆碰撞作用和板块俯冲增生作用产生的远场效应的联合结果<sup>[7,21,97-99]</sup>。

在华南东部的下扬子地区、浙西北地区 and 闽西南地区,印支构造线方向出现明显偏转,转为 NE—NNE 向(图 3),这种转向暗示印支运动时期华南东部地块相对于古太平洋板块发生逆时针旋转。闽西南地区的三叠系古地磁研究结果显示<sup>[100]</sup>,东南沿海地区相对于四川盆地发生了大规模的由南向北运动,但迄今尚没有获得这种地块相对运动的构造变形记录,值得今后研究工作的重视。在从变形强度上看,华南印支期近东西向褶皱构造相对比较宽缓,无

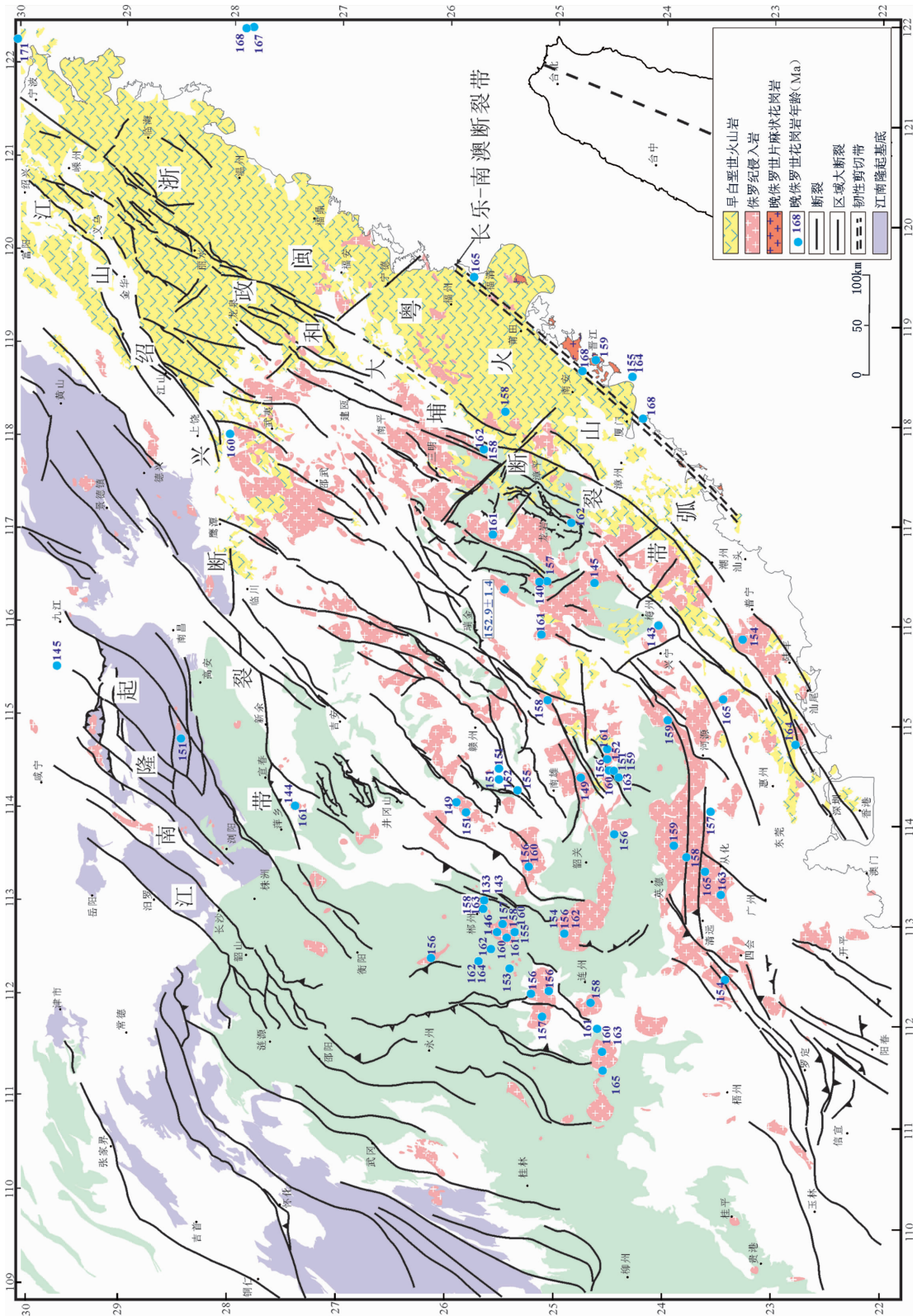


图 8 华南东部地区晚侏罗世花岗岩分布

Fig.8 Distribution of Late Jurassic granites in the eastern part of South China

论在湘中地区,还是沿大别山前陆褶皱构造带,晚三叠世陆相地层均以平行或微角度不整合在早中三叠世海相地层之上。

总之,华南大陆内部印支运动以陆内变形为主,其构造变形样式包括褶皱、逆冲、基底韧性剪切和可能的地块逆时针旋转,这种构造运动导致了大陆地块的隆升、海退和原始沉积盆地的掀斜等。

#### 4.2 华南早侏罗世大地构造性质

火成岩浆活动演化序列告诉我们,华南东部地区在经历了印支期岩浆活动之后,于早侏罗世早期(205~190 Ma)出现了一个明显的岩浆活动沉寂期<sup>[23,64]</sup>,持续时间达 15 Ma。这个时期华南地区 NE—NNE 向基底韧性剪切带仍处于走滑剪切变形<sup>[22]</sup>。因此,笔者将早侏罗世岩浆活动间隙期归属于印支运动的延续。

在早侏罗世晚期(190~175 Ma),华南大地构造过程发生了重要的变化,出现了以 A 型花岗岩和双峰式火山岩为特征的火成岩浆活动,主要沿南岭东西向构造带分布,指示近南北向伸展作用。笔者在闽西南地区野外调查时,发现在早中侏罗世沉积地层中发育大量的同沉积生长断层,断层走向近 W—E,断面呈犁形控制了早期下侏罗统沉积,指示了早中侏罗世近南北向伸展构造作用。因此,无论岩浆活动、还是盆地同沉积构造,均指示这个时期华南东部地区处于近南北向的伸展构造背景之下,而强烈的伸展作用主要沿南岭东西向构造带发育。

对这期伸展构造—热事件的成因和深部构造动力学背景,则存在不同的认识。陈培荣等<sup>[7]</sup>将南岭地区早侏罗世 A 型花岗岩看作是后造山花岗岩。许多作者认为这是岩石圈的局部“伸展—裂解”和地幔物质上涌的结果<sup>[23,78,101]</sup>,是陆内裂谷作用的表现。另外一些作者<sup>[102]</sup>根据湘南地区早中侏罗世花岗闪长岩岩石化学特征,认为这些镁质的钙碱质、碱钙质花岗岩类是与大洋板块俯冲作用相关的岩浆弧有关,而非伸展环境,可能代表了燕山运动早期伊泽奈崎板块向华南之下俯冲的起始时间。显然,深刻认识这期伸展构造—热事件的深部构造动力学背景,需要更多的岩石学、构造地质学资料和证据。基于双峰式火山活动呈东西向展布,主体受南岭东西向构造带的控制,笔者推测,这期构造—岩浆活动是继华南印支期陆内挤压变形之后,岩石圈发生伸展和陆内裂谷作用的产物,与大洋板块俯冲作用没有直接的成因联系。

#### 4.3 华南早燕山构造事件的起始时间、性质及其动力过程

华南早中生代大地构造研究的关键科学问题之一是:东部陆缘大洋板块从什么时间开始向华南大陆俯冲?或从什么时候起华南大陆东部陆缘由被动边缘转变为主动边缘的?回答这个问题,需要对华南地区广泛发育的早中生代岩浆岩、褶皱逆冲构造及其时序性进行深入的分析。

从华南东部地区火成岩浆活动序列上看,在中、晚侏罗世之交(175~165 Ma),明显存在一个岩浆活动的低谷期,晚侏罗世又是一个强烈岩浆活动期,峰期在 155~165 Ma,在华南以发育大型花岗岩岩基为特征,并呈面状分布。显然,晚侏罗世岩浆活动的规模和构造性质明显不同于早中侏罗世伸展型构造—岩浆活动,它代表的是另一次重要的构造—热事件,文献上通常称为燕山运动早幕,笔者将其命名为早燕山构造事件。除了华南大陆腹地广泛发育的褶皱—逆冲断裂构造系统以外,在福建沿海地带发育的平潭—东乡变质带中,发育片麻状混合花岗岩(~165 Ma)<sup>[90]</sup>,这种岩石在海上石油钻井中也钻遇,获得的锆石 SHRIMP U—Pb 年龄为 168 Ma<sup>[80]</sup>。这些现象说明,平潭—东乡变质带在中晚侏罗世发生挤压增厚作用,地壳物质发生重熔,是早燕山构造事件的重要表现。

叠加褶皱构造分析结果显示,华南东部地区早燕山构造层( $T_3$ — $J_{1-2}$ )的褶皱轴方向为 NE—NNE,没有 W—E 向褶皱,而印支构造层( $D_3$ — $T_2$ )则发育 W—E 和 NE—NNE 两组褶皱构造的叠加,由此推断 W—E 向褶皱代表印支运动构造线,而 NE—NNE 向褶皱是早燕山运动构造线。对于 NE—NNE 向早燕山褶皱构造的形成时限,可以从岩浆侵位时代和卷入地层的时代来制约。早燕山事件形成的北东—北北东向褶皱卷入的最新地层为中侏罗统,其上被早白垩世中酸性火山岩或上侏罗统砂岩不整合覆盖,由此推断早燕山褶皱构造形成时代的下限应位于中侏罗世中晚期。逆冲断层卷入的最新地层也为中下侏罗统<sup>[60,52,53,103]</sup>,在许多地区,晚侏罗世花岗岩侵位于早燕山构造层的褶皱构造和印支构造层中的 NNE 向褶皱构造。根据对湘中骑田岭花岗岩体和闽西南和田花岗岩体的高精度年代学测试数据的分析,这些岩体侵位时代在 165~161 Ma,这个年龄限定了 NE—NNE 向褶皱构造形成的上限<sup>[24]</sup>。

由上述分析可见,华南地区广泛发育的 NE-NNE 向褶皱构造系统主要形成于中侏罗世中晚期,这个时期恰恰对应华南东部地区岩浆活动低谷期(175~165 Ma),紧随其后的是大规模的花岗岩浆活动(165~155 Ma),这便是华南地区早燕山构造事件的主要体现。产生早燕山构造-热事件的大地构造背景往往与伊泽奈崎板块向华南大陆之下的低角度俯冲作用相联系<sup>[64]</sup>。研究表明,伊泽奈崎板块沿亚洲大陆东南部边缘在中侏罗世(170 Ma 左右)向大陆之下俯冲<sup>[104-106]</sup>。Isozaki et al<sup>[107]</sup>相信,大部分日本俯冲增生楔的形成时代可以追溯到 160 Ma 之前的板块俯冲。大洋板块俯冲初始阶段可能以低角度俯冲,这种俯冲方式可以将板块边界应力进行远距离传递,不仅使华南东部地区发生大规模的褶皱逆冲作用和大陆地壳的增厚,也使扬子地块东南地区发生基底拆离和盖层滑脱,其构造应力传递机理与北美 Rocky Mountain 的形成过程相似。

## 5 初步结论

通过对华南早中生代构造层、岩浆活动序列和构造变形样式的综合分析,得出以下几点认识:

(1) 华南早中生代构造动力体制经历了从特提斯陆-陆碰撞构造体制向大洋板块俯冲构造体制的转换,这两个构造动力体制分别在华南产生强烈的陆内变形,形成了复杂的构造-岩浆组合。印支构造事件主要发生在中三叠世晚期(~238 Ma),构造运动产生的变形形迹主要表现为近东西向褶皱-逆冲构造带和 NE-NNE 向韧性走滑剪切带,其动力来自于华南地块南北边缘的碰撞造山作用和俯冲增生作用的远场效应。早燕山构造事件发生于中侏罗世(175~165 Ma),在华南形成了宽达 1300 km 的褶皱逆冲构造系统,构造线走向为 NE-NNE,动力来自于大洋板块向华南大陆之下低角度俯冲作用。

(2) 华南早中生代火成岩演化序列明显分为 3 个阶段:印支期花岗岩(活动峰期 250~205 Ma)、早中侏罗世伸展型火成岩(A 型花岗岩和双峰式火山岩,活动峰期 190~175 Ma)、晚侏罗世花岗岩(活动峰期 165~155 Ma)。从大地构造演化角度看,印支期岩浆活动是印支构造事件产生的地壳重熔,晚侏罗世岩浆活动是早燕山构造事件产生的地壳重熔及壳幔相互作用的结果。而早中侏罗世岩浆活动代表了地壳伸展构造背景下的地幔上涌,其深部过程和板

块构造背景有待进一步研究。

## 参考文献(References):

- [1] 赵越, 杨振宇, 马醒华. 东亚大地构造发展中的重要转折[J]. 地质科学, 1994, 29(2):105-128.  
Zhao Yue, Yang Zhenyu, Ma Xinghua. Geotectonic transition from paleo-Asian system and paleotethyan system to paleopacific active continental margin in eastern Asia [J]. Scientia Geological Sinica, 1994, 29(2):105-128(in Chinese with English abstract).
- [2] 赵越, 徐刚, 张拴宏, 等. 燕山运动与东亚构造体制的转变[J]. 地学前缘, 2004, 9:329-328.  
Zhao Yue, Xu Gang, Zhang Xuanhong, et al. Yanshanian movement and conversion of tectonic regimes in East Asia [J]. Earth Science Frontiers, 2004, 9:329-328 (in Chinese with English abstract).
- [3] Dong Shuwen, Zhang Yueqiao, Long Changxing, et al. Jurassic tectonic revolution in China and new interpretation of the "Yanshan Movement" [J]. Acta Geological Sinica, 2007, 81 (11): 1449-1461.
- [4] Carter Andrew, Delphine R, Charles B, et al. Understanding Mesozoic accretion in Southeast Asia: Significance of Triassic thermotectonism (Indosinian orogeny) in Viet Nam [J]. Geology, 2001, 29 (3):211-214.
- [5] Carter A P D, Clift C R. Was the Indosinian orogeny a Triassic mountain building or a thermotectonic reactivation event? [J]. C.R. Geoscience, 2008, 340:83-93.
- [6] Chen Jiangfeng, Foland K A, Xing Fengming, et al. Magmatism along the southeast margin of the Yangtze block: Precambrian collision of Yangtze and Cathaysia [J]. Geology, 1991, 19:15-18.
- [7] Charvet Jacques, Shu Liangshu, Shi Yangshen, et al. The building of South China: collision of Yangzi and Cathaysia blocks, problems and tentative answers [J]. Journal of Southeast Asian Earth Sciences, 1996, 13 (3/5):223-235.
- [8] 舒良树. 华南前泥盆纪构造演化: 从华夏地块到加里东期造山带 [J]. 高校地质学报, 2006, 12(4):418-431.  
Shu Liangshu. Predevonian tectonic evolution of South China: from Cathaysian block to Caledonian period folded orogenic belt [J]. Geological Journal of China Universities, 2006, 12 (4):418-431(in Chinese with English abstract).
- [9] Huang T K. On Major Tectonic Forms of China [M]. Nanjing: Geological Memoirs, Ser. A, 1945, 20:1-165.
- [10] 任纪舜. 印支运动及其在中国大陆构造演化中的意义 [J]. 中国地质科学院院报, 1984, 9:31-42.  
Ren Jishun. The Indosinian orogeny and its significance in the tectonic evolution of China [J]. Acta Geoscientia Sinica, 1984, 9: 31-42(in Chinese with English abstract).
- [11] 任纪舜. 论中国南部的大地构造 [J]. 地质学报, 1990, 64(4): 275-288.

- Ren Jishun. On the geotectonics of southern China [J]. *Acta Geologica Sinica*, 1990, 64 (4): 275–288 (in Chinese with English abstract).
- [12] 郭福祥. 中国南方中生代大地构造属性和南华造山带褶皱过程[J]. *地质学报*, 1998, 72(1):25–33.
- Guo Fuxiang. Meso–Cenozoic Nanhua (South China) Orogenic Belt–Subaerial Tridirectional Orogen [J]. *Acta Geologica Sinica*, 1998, 72(1):25–33(in Chinese with English abstract).
- [13] Hsü K J, Sun S, Li J L. Huanan Alps, not South China Platform[J]. *Sci. Sin.*, Ser. B, 1987, 10:1107–1115.
- [14] Hsü K J, Sun S, Li J L. et al. Mesozoic overthrust tectonics in south China[J]. *Geology*, 1988, 16:418–421.
- [15] Hsü K J, Li J L, Chen H H, et al. Tectonics of South China: key to understanding west Pacific geology [J]. *Tectonophysics*, 1990, 183: 9–39.
- [16] Gupta S. Mesozoic overthrust tectonics in south China[J]. *Geology*, 1989, 17:384–386.
- [17] Rodgers J. Comments on Mesozoic overthrust tectonics in south China[J]. *Geology*, 1989, 17, 671–672.
- [18] Rowley D B, Ziegler A M, Nie G. Comment on Mesozoic overthrust tectonics in south China [J]. *Geology*, 1989, 17:394–396.
- [19] Chen Jiangfeng, Jahn Bor–ming. Crustal evolution of southeastern China:Nd and Sr isotopic evidence [J]. *Tectonophysics*, 1998, 284:101–133.
- [20] Yu Xinqi, Hou Mingjin, Wang De'en. No evidence for a large Mesozoic overthrust in the Lantian area of Anhui Province, south China[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2005, 25: 601–609.
- [21] Shu Liangshu, Michel Faure, Wang Bo, et al. Late Palaeozoic–Early Mesozoic geological features of South China: Response to the Indosinian collision events in Southeast Asia [J]. *C. R. Geoscience*, 2008, 340:1–15.
- [22] Wang Y J, Zhang Y H, Fan W M, et al. Structural signatures and  $^{40}\text{Ar}$ – $^{39}\text{Ar}$  geochronology of the Indosinian Xuefengshan tectonic belt, South China Block [J]. *Journal of Structural Geology*, 2005, 27:985–998.
- [23] Li Zhengxiang, Li Xianhua. Formation of the 1300 km–wide intracontinental orogen and postorogenic magmatic province in Mesozoic South China: A flat–slab subduction model[J]. *Geology*, 2007, 35:179–182.
- [24] 张岳桥,徐先兵,贾东,等. 华南早中生代从印支期碰撞构造体系向燕山期俯冲构造体系转换的形变记录[J]. *地学前缘*, 2009, 16(1):234–247.
- Zhang Yueqiao, Xu Xianbing, Jia Dong, et al. Deformation record of the change from Indosinian collision–related tectonic system to Yanshanian subduction–related tectonic system in South China during the Early Mesozoic[J]. *Earth Science Frontiers*, 2009, 16(1): 234–247(in Chinese with English abstract).
- [25] 万天丰. 中国大地构造学纲要[M]. 北京:地质出版社, 2004:387.
- Wan Tianfeng. *Tectonic Outline of China*[M]. Beijing:Geological Publishing House, 2004:387(in Chinese).
- [26] 龚一鸣,吴诒,杜远生,等. 华南泥盆纪海平面变化节律及圈层耦合关系[J]. *地质学报*, 1997, 71(3):212–226.
- Gong Yiming, Wu Yi, Du Yuansheng, et al. The Devonian sea–level change rhythms in south China and coupling relationships of the spheres of the Earth [J]. *Acta Geologica Sinica*, 1997, 71(3): 212–226(in Chinese with English abstract).
- [27] 刘宝珺,许效松. 中国南方岩相古地理图集(震旦纪–三叠纪)[M]. 北京:科学出版社, 1994.
- Liu Baojun, Xu Xiaosong. *Maps of Paleo–geography Lithofacies in South China*[M]. Beijing: Science Press, 1994(in Chinese).
- [28] 高端祺,赵政璋,主编. 中国南方海相油气地质及勘探前景[C]//中国油气新区勘探(第五卷). 北京:石油工业出版社, 2001.
- Gao Ruiqi, Zhao Zhengzhang (ed.). *Marine Oil–gas Geology and Exploration Foreground in South China [C]//New Exploration Area of Oil and Gas in China (Fifth series)*. Beijing:Petroleum industry Press, 2001(in Chinese).
- [29] 尹福光,许效松,万方. 广西十万大山盆地演化过程及油气资源响应[J]. *沉积与特提斯地质*, 2002, 22(3): 31–35.
- Yin Fuguang, Xu Xiaosong, Wan Fang. The evolution of the Shiwandashan basin in Guangxi and its response to oil and gas resources[J]. *Sedimentary and Tethyan Geology*, 2002, 22(3): 31–35(in Chinese with English abstract).
- [30] 冯少南. 东吴运动的新认识[J]. *现代地质*, 1991, 5(4):378–384.
- Feng Shaonan. New knowledge of Dongwu movement [J]. *Geoscience*, 1991, 5 (4): 378–384 (in Chinese with English abstract).
- [31] 何斌,徐义刚,王雅玖,等. 东吴运动性质的厘定及其时空演变规律[J]. *地球科学–中国地质大学学报*, 2005, 30(1):89–96.
- He Bin, Xu Yigang, Wang Yajiu, et al. Nature of the Dongwu movement and its temporal and spatial evolution [J]. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 2005, 30(1):89–96(in Chinese with English abstract).
- [32] 杨遵仪,吴顺宝,殷鸿福. 华南二叠–三叠纪过渡期地质事件[M]. 北京:地质出版社, 1991.
- Yang Zunyi, Wu Shunbao, Yin Hongfu. *Geological Events in the Interim between Permian and Triassic [M]*. Beijing:Geological Publishing House, 1991(in Chinese).
- [33] 殷鸿福. 二叠系–三叠系研究的进展 [J]. *地球科学进展*, 1994, 9(2): 1–9.
- Yin Hongfu. Research process in Permian to Triassic [J]. *Research Process in Earth Sciences*, 1994, 9(2): 1–9(in Chinese with English abstract).
- [34] 孟繁松. 鄂湘粤桂侏罗系的几个问题 [J]. *地层学杂志*, 1985, 9(4):317–321.
- Meng Fansong. Some questions of Jurassic Stratigraphy in Hubei,



- Hunan, Guangdong and Guangxi [J]. *Journal of Stratigraphy*, 1985, 9(4): 317-321(in Chinese with English abstract).
- [35] 何开善. 湖南区域地质研究的新进展 [J]. *地质通报*, 1986, 3: 204-210.
- He Kaishan. New progress in the study of the regional geology of Hunan [J]. *Geological Bulletin of China*, 1986, 3:204-210 (in Chinese with English abstract).
- [36] 方宗杰, 王烈, 梁承礼, 等. 湖南资兴三都中生代含煤地层研究的新进展[J]. *地层学杂志*, 1989, 13(3):193-204.
- Fang Zhongjie, Wang Lie, Liang Chengli, et al. New advance of Mesozoic coal-bearing Stratigraphy of Sandu area, Zixing Country, Hunan [J]. *Journal of Stratigraphy*, 1989, 13 (3): 193-204 (in Chinese with English abstract).
- [37] 陈汉宗, 孙珍, 周蒂. 华南中生代岩相变化及海相地层时空分布 [J]. *热带海洋学报*, 2003, 22(2):74-82.
- Chen Hanzong, Sun Zhen, Zhou Di. Distributions of Mesozoic lithofacies and marine strata in south China[J]. *Tropic Oceanology*, 2003, 22(2):74-82(in Chinese with English abstract).
- [38] 湖南省地质矿产局. 湖南省区域地质志[M]. 北京:地质出版社, 1982:198-237.
- Hunan Bureau of Geology and Mineral Resources. Regional Geology of Fujiamn Province [M]. Beijing:Geological Publishing House, 1982:198-237(in Chinese).
- [39] 福建省地质矿产局. 福建省区域地质志[M]. 北京:地质出版社. 1985, 135-561.
- Fujian Bureau of Geology and Mineral Resources. Regional Geology of Fujiamn Province [M]. Beijing:Geological Publishing House, 1985, 135-561(in Chinese).
- [40] 江西省地质矿产局. 江西省区域地质志[M]. 北京:地质出版社. 1984:260-306.
- Jiangxi Bureau of Geology and Mineral Resources. Regional Geology of Fujiamn Province [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1984:260-306(in Chinese).
- [41] 王彬, 舒良树, 杨振宇. 赣闽粤地区早、中侏罗世构造地层研究 [J]. *地层学杂志*, 2006, 30(1):42-49.
- Wang Bin, Shu Liangshu, Yang Zhenyu. Study of the early - middle Jurassic tectono-stratigraphy in the Jiangxi -Fujian - Guangdong region, SE China [J]. *Journal of Stratigraphy*, 2006, 30 (1):42-49(in Chinese with English abstract).
- [42] 广东省地质矿产局. 广东省区域地质志[M]. 北京:地质出版社, 1985:193-325.
- Guangdong Bureau of Geology and Mineral Resources. Regional Geology of Fujiamn Province [M]. Beijing:Geological Publishing House, 1985:193-325(in Chinese).
- [43] Tong Jinnan, Yin Hongfu. The lower Triassic of South China [J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2002, 20:803-815.
- [44] 舒良树, 周新民, 邓平, 等. 南岭构造带的基本地质特征[J]. *地质论评*, 2006, 52(2):251-265.
- Shu Liangshu, Zhou Xinmin, Deng Ping, et al. Principal Geological Features of Nanling Tectonic Belt, South China [J]. *Geological Review*, 2006, 52(2):251-265(in Chinese with English abstract).
- [45] 赵葵东, 蒋少涌, 姜耀辉, 等. 湘南骑田岭岩体芙蓉超单元的锆石 SHRIMP-U-Pb 年龄及其地质意义 [J]. *岩石学报*, 2006, 22 (10): 2611-2616.
- Zhao Kuidong, Jiang Shaoyong, Jiang Yaohui, et al. SHRIMP U-Pb dating of the Furong unit of Qitangling granite from southeast Hunan province and their geological implications [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2006, 22 (10):2611-2616 (in Chinese with English abstract).
- [46] Xu Xianbing, Zhang Yueqiao, Jia Dong, et al. Zircon LA-ICPMS U-Pb dating of volcanic rocks and granites in Wuyi Mountains: constraints to the timing of late Mesozoic tectonic events in Southeast China[J]. Submission.
- [47] 朱志澄. 中国南方侏罗山式褶皱及其形成机制 [J]. *地球科学*, 1983, 22:43-51.
- Zhu Zhicheng. On Jura-type fold (South China) and its mechanism [J]. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 1983, 22: 43-51(in Chinese with English abstract).
- [48] 彭少梅, 彭松柏, 邵建国. 云开地区海西-印支期逆冲推覆构造系统[J]. *广东地质*, 1995, 10(2): 1-8.
- Peng Shaomei, Peng Songbai, Shao Jianguo. Hercynian-Indonesian nappe structure in Yunkai area [J]. *Guangdong geology*, 1995, 10 (2): 1-8(in Chinese with English abstract).
- [49] 杜杨松, Collerson K D, 赵建新, 等. 两广交界地区 S 型花岗岩中麻粒岩包体的特征和成因[J]. *岩石学报*, 15(2): 309-314.
- Du Yangsong, Collerson K D, Zhao Jianxin, et al. Characteristics and petrogenesis of granulite enclaves in S-type granites in the junction of Guangdong and Guangxi Provinces[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 15 (2):309-314(in Chinese with English abstract).
- [50] 邵建国, 彭少梅, 彭松柏. 云开地块周边断裂带  $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$  等时线定年[J]. *广东地质*, 1995, 10(2):34-40.
- Shao Jianguo, Peng Shaomei, Peng Songbai.  $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$  isotope dating of faultes in Yunkai area [J]. *Guangdong Geology*, 1995, 10(2): 34-40(in Chinese with English abstract).
- [51] 贾宝华. 雪峰山区韧性剪切构造带 [J]. *湖南地质*, 1992, 11(3): 203-208.
- Jia Baohua. The ductile shear tectonic zones in Xuefengshan region [J]. *Hunan Geology*, 1992, 11(3):203-208(in Chinese with English abstract).
- [52] Xiao Wenjiao, Sun Shu, Li Jiliang, et al. Early Mesozoic collapse of the late Paleozoic Archipelago in South China [J]. *Paradoxes in Geology*, 2001, 15-37.
- [53] Xiao Wenjiao, He Haiqing. Early Mesozoic thrust tectonics of the northwest Zhejiang region (Southeast China) [J]. *GSA Bulletin*, 2005, 117:945-961.

- [54] 关玉祥, 黄耀明, 陶剑华. 初论福建推覆构造[J]. 福建地质, 1989, 1:1-34.  
Guan Yuxiang, Huang Yaoming, Tao Jianhua. A preliminary discussions on nappe structure in Fujian [J]. Geology of Fujian, 1989, 1:1-34(in Chinese with English abstract).
- [55] 关玉祥, 杨添水. 福建省推覆构造及其意义 [J]. 福建地质, 1994, 4:248-277.  
Guan Yuxiang, Yang Tianshui. Nappe Structure Research of Fujian Province and its Significance[J]. Geology of Fujian, 1994, 4: 248-277(in Chinese with English abstract).
- [56] 陈爱根, 吴正文. 福建宁化湖村盆地构造解析及其地质意义[J]. 地质论评, 1996, 42(3):193-199.  
Chen Aigen, Wu Zhengwen. The Structural analysis of the Hucun basin, Ninghua country, Fujian Province, and its geological implications [J]. Geological Review, 1996, 42 (3):193-199 (in Chinese with English abstract).
- [57] 黄昌旗, 曹明志. 闽西南回龙地区逆冲推覆构造 [J]. 福建地质, 2001, 2:85-90.  
Huang Changqi, Cao Mingzhi. Thrust Nappe Structures from Huilong Area in Southwestern Fujian[J]. Geology of Fujian, 2001, 2:85-90(in Chinese with English abstract).
- [58] Zhou Zuyi, Lao Qiuyuan, Chen Huanjiang, et al. The early Mesozoic orogeny in Fujian, Southeast China [C]//Hall R, et al. (eds). Tectonic Evolution of SE Asia, Geological Society Special Publication, 1996, 106:549-556.
- [59] 陶建华, 陈福龙. 福建省推覆构造研究[J]. 石油实验地质, 2006, 28 (3):259-264.  
Tao Jianhua, Chen Fulong. Nappe structure in Fujian province[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2006, 28 (3):259-264 (in Chinese with English abstract).
- [60] Chen A. Mirror-image thrusting in the South China Orogenic Belt: tectonic evidence from western Fujian, southeastern China[J]. Tectonophysics, 1999, 305:497-519.
- [61] 黄廷谏, 揭育金. 福建明溪盆地成因探讨[J]. 福建地质, 1999, 1: 1-5.  
Huang Yangan, Jie Yujin. Discussion on Origin of Mingxi Basin in Fujian Province [J]. Geology of Fujian, 1999, 1:1-5 (in Chinese with English abstract).
- [62] Yuan Xuecheng. The Global Geoscience Transect from Altay, China to the Philippine Sea and Taiwan [J]. International Geology Review, 1999, 41:275-286.
- [63] Wang Yuejun, Fan Weimin, Guo Feng. Geochemistry of Mesozoic mafic rocks around the Chenzhou-Linwu fault in South China: Implications for the Lithospheric Boundary between the Yangtze and Cathaysia Blocks [J]. International Geology Review, 2003, 45: 263-286.
- [64] Wang Yuejun, Fan Weiming, Cawood Peter A, et al. Sr-Nd-Pb isotopic constraints on multiple mantle domains for Mesozoic mafic rocks beneath the South China Block hinterland [J]. Lithos, 2008, 106: 297-308.
- [65] 蔡建新. 粤桂边界合浦-河台韧性剪切带及其大地构造意义[D]. 南京大学硕士研究生毕业论文, 2006:38-43.  
Cai Jianxin. The Hepu-Hetai ductile shear zone along the Guangdong-Guangxi boundary, southern China, and the tectonic implication [D]. Thesis for Master's Degree, Nanjing University, 2006:38-43(in Chinese with English abstract).
- [66] 陈新跃, 王岳军, 范蔚茗, 等. 琼西南 NE 向韧性剪切带构造特征及其  $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$  年代学约束[J]. 地球化学, 2006, 35(5):479-488.  
Chen Xinyao, Wang Yuejun, Fan Weiming, et al. Microstructure characteristics of NE trend ductile shear zones of southwestern Hainan: constraints from  $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$  geochronology[J]. Geochimica, 2006, 35(5): 479-488(in Chinese with English abstract).
- [67] 陈新跃, 王岳军, 韦牧, 等. 海南公爱 NW 向韧性剪切带构造特征及其  $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$  年代学约束[J]. 大地构造与成矿学, 2006, 30(3): 312-319.  
Chen Xinyao, Wang Yuejun, Wei Mu, et al. Microstructure characteristics of NW trend ductile shear zones of Gongai, Hainan: Constraints from  $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$  geochronology [J]. Geotectonica et Metallogenia, 2006, 30 (3): 312-319 (in Chinese with English abstract).
- [68] 刘德良, 郭方道, 李曙光, 等. 浙西南韧性剪切带构造岩石学研究 [C]//李继亮主编, 东南大陆岩石圈结构与地质演化, 1993: 27-33.  
Liu Deliang, Guo Fangdao, Li Shuguang, et al. Tectono-petrology research of ductile shear zone in southwest Zhejiang Province[C] //From Li Jiliang(ed.) Lithosphere structure and geological evolution in southeastern China, 1993:27-33(in Chinese).
- [69] 朱炳泉, 王一先, 王慧芬, 等. 黄山-温州地球化学剖面及廊区解析[J]. 地球化学, 1997, 26(2): 1-13.  
Zhu Bingquan, Wang Yixian, Wang Huifen, et al. Huanshang-Weizhou geochemical section and its corridor area of lithosphere in southeastern China[J]. Geochimica, 1997, 26(2):1-13(in Chinese with English abstract).
- [70] 黄家龙, 林亨才. 后坪-大洛韧性剪切带初步研究 [J]. 福建地质, 2003, 4:213-220.  
Huang Jialong, Lin Hengcai. On the Houping-Daluo ductile shear belt [J]. Geology of Fujian, 2003, 4:213-220 (in Chinese with English abstract).
- [71] 周新民. 对华南花岗岩研究的若干思考[J]. 高校地质学报, 2003, 9(4): 556-565.  
Zhou Xinmin. My Thinking about granite geneses of South China [J]. Geological Journal of China Universities, 2003, 9 (4):556-565 (in Chinese with English abstract).
- [72] Sun Tao, Zhou Xinmin, Chen Peilong, et al. Strongly peraluminous granites of Mesozoic in Eastern Nanling Range, southern China: Petrogenesis and implications for tectonics[J]. Science in China (Series

- D): *Earth Sciences*, 2005, 48(2): 165–174.
- [73] Wang Yuejun, Fan Weiming, Sun Min, et al. Geochronological, geochemical and geothermal constraints on petrogenesis of the Indosinian peraluminous granites in the South China Block: A case study in Hunan Province[J]. *Lithos*, 2007, 96:475–502.
- [74] Zhou Xinmin, Sun Tao, Shen Weizhou, et al. Petrogenesis of Mesozoic granitoids and volcanicrocks in South China: A response to tectonicevolution[J]. *Episodes*, 2006, 29(1):26–33
- [75] 敖振宽. 试论中国地台南部加里东运动的影响及其大地构造发展史[J]. *地质学报*, 1956, 36(3):273–298.  
Ngo Zhenkuan. Remarks on the effect of the Caledonian movement and geotectonic history on the southern part of the Chinese platform[J]. *Acta Geological Sinica*, 1956, 36(3):273–298 (in Chinese with English abstract).
- [76] 陈培荣, 章邦桐, 孔兴功, 等. 赣南寨背 A 型花岗岩体的地球化学特征及其构造地质意义[J]. *岩石学报*, 1998, 14(3):289–298.  
Chen Peirong, Zhang Bangtong, Kong Xinggong, et al. Geochemical characteristics and tectonic implication of Zhaibei A type granitic intrusives in south Jiangxi Province [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 1998, 14(3):289–298(in Chinese with English abstract).
- [77] Chen Peirong, Zhou Xinmin, Zhang Wenlan, et al. The genesis and significance of early Yanshanian intrusive complex in eastern Nanling area[J]. *Science in China (Series D):Earth Sciences*, 2004, 34(6): 493–503.
- [78] 贺振宇, 徐夕生, 陈荣, 等. 赣南正长岩–辉长岩的起源及其地质意义[J]. *岩石学报*, 2007, 23(6): 1457–1469.  
He Zhenyu, Xu Xisheng, Chen Rong, et al. Genesis of Middle Jurassic syenite –gabbro in southern Jiangxi province and their geological significance [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2007, 23 (6): 1457–1469(in Chinese with English abstract).
- [79] Chen Peirong, Hua Renmin, Zhang Bangtong, et al. Early Yanshanian post –orogenic granitoids in the Nanling region: petrological constraints and geodynamic settings [J]. *Science in China (Series D):Earth Sciences*, 2002, 45(8):755–768.
- [80] 王德滋. 华南花岗岩研究的回顾与展望[J]. *高校地质学报*, 2004, 10(3):305–314.  
Wang Dezi. The study of granitic rocks in South China: looking back and forward [J]. *Geological Journal of China Universities*, 2004, 10(3): 305–314(in Chinese with English abstract).
- [81] 陈培荣, 孔兴功, 王银喜, 等. 赣南燕山早期双峰式火山–侵入杂岩的 Rb– Sr 同位素定年及意义 [J]. *高校地质学报*, 1999, 5(4): 378–383.  
Chen Peirong, Kong Xinggong, Wang Yinxi, et al. Rb –Sr Isotopic dating and significance of early Yanshanian bimodal volcanic –intrusive complex from south Jiangxi Province [J]. *Geological Journal of China Universities*, 1999, 5 (4):378–383(in Chinese with English abstract).
- [82] Zhao Zhenhua, Bao Zhiwei, Zhang Boyou. Geochemistry of the Mesozoic basaltic rocks in southern Hunan Province [J]. *Science in China (Series D):Earth Sciences*, 1998, 41(1):102–112.
- [83] Li X H, Chen Z, Liu D Y, et al. Jurassic gabbro–granite–syenite suites from southern Jiangxi Province, SE, China: age, origin, and tectonic significance [J]. *International Geological Review*, 2003, 45: 898–921.
- [84] 邢光福, 杨祝良, 孙强辉, 等. 广东梅州早侏罗世层状基性–超基性岩体研究[J]. *矿物岩石地球化学通报*. 2001, 20(3):172–175.  
Xing Guangfu, Yang Zhuliang, Sun Qianghui, et al. Early Jurassic layered mafic –ultramafic intrusions in Meizhou, Guangdong Province [J]. *Bulletin of Mineralogy Petrology and Geochemistry*, 2001, 20(3):172–175(in Chinese with English abstract).
- [85] Campbell S D G, Sewell R J, Davis D W, et al. New U–Pb age and geochemical constraints on the stratigraphy and distribution of the Lantau Volcanic Group, Hong Kong [J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2007, 31:139–152.
- [86] 邢光福, 卢清地, 陈荣, 等. 华南晚中生代构造体制转折结束时限研究–兼与华北燕山地区对比[J]. *地质学报*, 2008, 82(4):451–463.  
Xing Guangfu, Lu Qingdi, Chen Rong, et al. Study on the ending time of late mesozoic tectonic regime transition in South China——Comparing to the Yanshan Area in North China [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2008, 82 (4): 451–463 (in Chinese with English abstract).
- [87] 李献华. 华南地壳增长和构造演化的年代学格架与同位素体系制约[J]. *矿物岩石地球化学通报*, 1993, 12(3):113–115.  
Li Xianhua. Geochronology structure and isotope restriction of crust growth and structural evolvment [J]. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 1993, 12 (3):113–115 (in Chinese with English abstract).
- [88] Li Xianhua, Li Zhengxiang, Li Wuxian, et al. U –Pb zircon, geochemical and Sr–Nd–Hf isotopic constraints on age and origin of Jurassic I– and A–type granites from central Guangdong, SE China: A major igneous event in response to foundering of a subducted flat–slab? [J]. *Lithos*, 2007, 96:186–204.
- [89] 朱金初, 陈骏, 王汝成, 等. 南岭中西段燕山早期北东向含锡钨 A 型花岗岩带[J]. *高校地质学报*, 2008, 14(4):474–484.  
Zhu Jinchu, Chen Jun, Wang Rucheng, et al. Early Yanshanian NE trending Sn/W –bearing A –type granites in the Western –Middle Part of the Nanling Mts Region [J]. *Geological Journal of China Universities*, 2008, 14(4): 474–484(in Chinese with English abstract).
- [90] Jahn Borming, Chen P Y, Yen T P. Rb–Sr ages of granitic rocks in southeastern China and their tectonic significance [J]. *Geological Society of America Bulletin*, 1976, 86:763–766.
- [91] 万天丰. 中国东南六省元古代–侏罗纪构造演化 [J]. *地球科学*, 1989, 14(1): 45–50.  
Wan Tianfeng. Tectonic evolution of Preterozoic–Jurassic in six

- provinces of southeastern China[J]. Earth Science—Journal of China University of Geosciences, 1989, 14 (1): 45–50 (in Chinese with English abstract).
- [92] Li Shuguang, Xiao Yilin, Liu Deliang, et al. Collision of the North China and Yangtze blocks and formation of coesite-bearing eclogites: timing and processes[J]. Chemical Geology, 1993, 109(1/4): 89–111.
- [93] Li Shuguang, Emil Jagoutz, Chen Yizhi, et al. Sm–Nd and Rb–Sr isotopic chronology and cooling history of ultrahigh pressure metamorphic rocks and their country rocks at Shuanghe in the Dabie Mountains, Central China [J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 2000, 64(6):1077–1093.
- [94] Bradley R Hacker, Ratschbacher Lothar, et al. U/Pb zircon ages constrain the architecture of the ultrahigh-pressure Qinling–Dabie Orogen, China [J]. Earth and Planetary Science Letters, 1998, 161 (1/4): 215–230.
- [95] 李献华, 周汉文, 丁式江, 等. 海南岛“邦溪——晨星蛇绿岩片”的时代及其构造意义—Sm–Nd 同位素制约 [J]. 岩石学报, 2000, 16(3): 425–432.
- Li Xianhua, Zhou Hanwen, Ding Shijiang, et al. Sm–Nd isotopic constraints on the age of the Bangxi–Chenxing ophiolite in Hainan island: implications for the tectonic evolution of eastern PaleoTethys [J]. Acta Petrologica Sinica, 2000, 16 (3): 425–432(in Chinese with English abstract).
- [96] Li Xianhua, Li Zhengxiang, Li Wuxian, et al. Initiation of the Indosinian Orogeny in South China: Evidence for a Permian Magmatic Arc on Hainan Island[J]. Journal of Geology, 2006, 114: 341–353.
- [97] Faure M, Lin W, Shu L, et al. Tectonics of the Dabieshan (eastern China) and possible exhumation mechanism of ultra high-pressure rocks[J]. Terra Nova, 1999, 11:251–258.
- [98] Lin W, Faure M, Sun Y, et al. Compression to extension switch during the Early Triassic orogeny of E.China: the case study of the Jiulingshan massif in the southern foreland of the Dabieshan [J]. J. Asian Earth Sci, 2001, 20:31–43.
- [99] Lepvrier C, Maluski H, Tich Vu Van, et al. The Early Triassic Indosinian orogeny in Vietnam (Truong Son belt and Kontum massif): implications for the geodynamic evolution of Indochina[J]. Tectonophysics, 2004, 393: 87–118.
- [100] Gilder Stuart A, Coe Robert S, Wu Haoruo, et al. Triassic paleomagnetic data from south China and their bearing on the tectonic evolution of the western circum-Pacific region [J]. Earth and Planetary Science Letters, 1995, 131: 269–287.
- [101] Xie xin, Xu Xisheng, Zou Haibo, et al. Early J<sub>2</sub> basalts in SE China: Incipience of large-scale late Mesozoic magmatism [J]. Science in China (Series D): Earth Sciences, 2005, 49 (8):796–815.
- [102] 汪洋. 湘南早中侏罗世花岗岩闪长岩的岩石化学特征、构造背景及地质意义[J]. 北京地质, 2003, 15(3): 1–7.
- Wang Yang. The Early Mid-Jurassic granodiorite in South Hunan: its petrochemical characteristics, tectonic setting and geological implication[J]. Beijing Geology, 2003.15(3): 1–7.
- [103] Li J W., Zhou M F, Li X F, et al. The Hunan–Jiangxi strike-slip extension of the Tan–Lu fault [J]. Journal of Geodynamics, 2001, 32: 333–354.
- [104] Isozaki Yukio, Nishimura Yujiro. Fusaki Formation, Jurassic subduction-accretion complex on Ishigaki Island, southern Ryukyus and its geologic implication to late Mesozoic convergent margin of East Asia [J]. Memoirs of the Geological Society of Japan, 1989, 33:259–275.
- [105] Isozaki Y. Jurassic accretion tectonics of Japan [J]. The Island Arc, 1997, 6: 25–51.
- [106] Shigenori Maruyama, Isozaki Yukio, Kimura Gaku, et al. Paleogeographic maps of the Japanese islands: plate tectonic synthesis from 750 Ma to the present [J]. The Island Arc, 1997, 6: 121–142.
- [107] Isozaki Y, Maruyama S, Furuoka F. Accreted oceanic materials in Japan[J]. Tectonophysics, 1990, 181:179–205.

## Early Mesozoic geotectonic processes in South China

XU Xian-bing<sup>1</sup>, ZHANG Yue-qiao<sup>2</sup>, JIA Dong<sup>1</sup>, SHU Liang-shu<sup>1</sup>, WANG Rui-rui<sup>1</sup>

(1. School of Earth Sciences and Engineering, Nanjing University, Nanjing 210093, Jiangsu, China;

2. Institute of Geomechanics, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100081)

**Abstract:** South China experienced intense tectonic deformation and magmatism in Early Mesozoic, which resulted in profound change of the geodynamic regime. The processes and settings of the early Mesozoic geotectonic processes have long been a subject of controversy. Based on a summarization of previous research achievements, this paper deals with tectono-sedimentary layers, Early Mesozoic tectonic deformation styles and magmatic sequence, with the purpose of distinguishing between Indosinian and early Yanshanian tectonic events as well as their geological effects. It is shown that the Indosinian tectonic event occurred in Middle-Late Triassic (245~225Ma) and was featured by nearly EW-trending fold-and-thrust belts and NE-NNE striking ductile shear zones, which were dynamically related to the Triassic collision between the South China Block and the North China Block along the Qingling-Dabie orogenic belt and also to the subduction and accretion of plaeo-Tethys oceans along the southern margin of the South China Block. The basement of the Caledonian folded zone in eastern South China was intensely rejuvenated, and crustal melting occurred particularly in the Shiwan Mountains-Yunkai Mountain-Wuyi Mountain tectonic zone and Xuefeng area. Early Jurassic (205~190 Ma) marks an era of quiescence of magmatic activity in South China, whereas late Early Jurassic (190~180 Ma) was characterized by A-type granite emplacement and bimodal volcanic activity along the WE-trending Nanling belt. Early Yanshanian tectonic event commenced around 170 Ma in late Middle Jurassic, which caused the formation of a ~1300-km-wide, NE-NNE-trending fold-and-thrust system in South China. Crustal thickening and crust-mantle interaction led to the remobilization of Cathaysian Block and induced intense magmatic activities, with the development of a volcanic arc in southeastern China. This event was related to the low angle subduction of an oceanic plate under the South China Block, which led to a subsequent series of late Mesozoic intracontinental tectonic processes and magmatic activities.

**Key words:** South China; Early Mesozoic; fold-thrust belt; tectono-magmatic evolution sequence; change of tectonic regime

---

**About the first author:** XU Xian-bing, male, born in 1983, doctor candidate, majors in structure geology; E-mail: bingge1018@126.com.

**About the Corresponding author:** ZHANG Yue-qiao, mail, born in 1963, Professor, director of doctor candidate, engages in the research of structural geology and tectonics, neotectonics and basin analysis; E-mail: zhangyueqiao@yahoo.com.