

doi: 10.12029/gc20190403

宋传中, 李加好, 严加永, 王阳阳, 刘振东, 袁芳, 李振伟. 2019. 华南大陆东部若干构造问题的思考[J]. 中国地质, 46(4): 704-722.
Song Chuanzhong, Li Jiahao, Yan Jiayong, Wang Yangyang, Liu Zhendong, Yuan Fang, Li Zhenwei. 2019. A tentative discussion on some tectonic problems in the east of South China continent[J]. Geology in China, 46(4): 704-722(in Chinese with English abstract).

华南大陆东部若干构造问题的思考

宋传中¹, 李加好¹, 严加永², 王阳阳¹, 刘振东², 袁芳¹, 李振伟¹

(1. 合肥工业大学资源与环境工程学院, 安徽合肥 230009; 2. 中国地质科学院矿产资源研究所, 国土资源部成矿作用与资源评价重点实验室, 北京 100037)

摘要: 华南大陆的结构、属性、过程与动力学一直是地质学家关注的热点。本文以钦杭构造带东段为主要研究地区, 通过精细的构造解析、变质变形研究、年代学分析, 结合反射地震剖面, 探讨了华南大陆东部几个科学问题。(1) 江南造山带形成于新元古代华夏板块与扬子板块的“软碰撞”作用, 可划分为扬子板块南缘、扬子—华夏汇聚带和华夏板块北缘 3 个构造单元, 江南断裂带和武夷山—遂昌断裂带分别为江南造山带的北界和南界。(2) 扬子—华夏板块汇聚带由多个小板块拼合而成, 其间有多条缝合带, 大约 900 Ma 开始汇聚, 760 Ma 全面闭合, 850~780 Ma 为活动高峰期, 具有递变式的汇聚拼合过程, 由南向北发展, 先斜向俯冲, 后右旋走滑, 最晚集中在中部活动。(3) 华南大陆东部为中生代奠定的构造格架, 主要构造为一系列北东走向褶皱和逆冲断层, 大量地壳范围内的叠瓦状逆冲推覆构造, 由南向北逆冲, 可下切到中—下地壳。(4) 华南大陆燕山晚期区域性伸展构造广泛发育, 存在“华南热隆”构造, 震旦系内的滑覆构造典型, 同期大规模岩浆活动、火山活动和大规模的热液成矿。(5) 华南大陆构造演化为: 850 Ma 扬子—华夏板块递进式汇聚, 760 Ma 全面拼合, 江南造山带形成; 600 Ma 华南大陆盖层发育; 430 Ma 钦杭构造带受南部构造影响; 220 Ma 钦杭构造带受北部远程构造影响; 160 Ma 逆冲推覆构造产生; 140 Ma 大规模伸展, 构造—岩浆—成矿关系密切; 随后江南持续隆升, 华南强烈热隆。

关键词: 华南大陆; 江南造山带; 板块汇聚带; 构造过程; 推覆构造

中图分类号: P548 文献标志码: A 文章编号: 1000-3657(2019)04-0704-19

A tentative discussion on some tectonic problems in the east of South China continent

SONG Chuanzhong¹, LI Jiahao¹, YAN Jiayong², WANG Yangyang¹,
LIU Zhendong², YUAN Fang¹, LI Zhenwei¹

(1. School of Resources and Environment Engineering, Hefei University of Technology, Hefei 230009, Anhui, China; 2. MLR Key Laboratory of Metallogeny and Mineral Assessment, Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China)

Abstract: The structure, properties, processes and dynamics of the south China continent have always been the focus among geologists. In this paper, the eastern part of the Qinghang tectonic belt was taken as the main research area. Based on detailed structural analysis, metamorphism and deformation research, chronology analysis and reflection seismic profile, the authors

收稿日期: 2019-04-20; 改回日期: 2019-07-15

基金项目: 中国地质调查局项目(DD20160082)和国家重点研发计划专项课题(2016YFC0600201)共同资助。

作者简介: 宋传中, 男, 1954 年生, 教授, 博士生导师, 从事大地构造与构造地质学研究; E-mail: czsong69@163.com。

investigated several scientific problems in the eastern part of the south China continent. (1) The Jiangnan orogenic belt was formed by the "soft collision" between the Cathaysia plate and the Yangtze plate in late Proterozoic, which can be divided into three tectonic units: the southern margin of the Yangtze plate, the Yangtze–Cathaysia convergence belt and the northern margin of the Cathaysia plate. The Jiangnan fault belt and The Wuyishan–Suichang fault belt are the northern and southern boundary of the Jiangnan orogenic belt, respectively. (2) The Yangtze–Cathaysia convergence belt is composed of several small plates and suture zones. The convergence between them was progressive from south to north. It was shown as oblique subduction at first, followed by dextral strikeslipping, and the activity was concentrated in the middle at the latest. It began at about 900 Ma, reached its climax in 850~780 Ma and was closed completely at about 760 Ma. (3) The tectonic framework of the east of South China continent was established in the Mesozoic. The main structure was a series of NE–striking folds and thrust faults. A large number of imbricated thrusting nappe structures with thrusting movement from south to north originated from the middle–lower crust scale. (4) The regional extensional structures were widely developed in the east of the South China continent in late Yanshanian which led to the formation of "the South China thermal upwelling". It developed typical sliding nappe structures in the Sinian strata. The large–scale magmatic activity, volcanic activity and large–scale hydrothermal mineralization took place at the same time. (5) The tectonic evolution of the South China continent is as follows: The peak of progressive convergence between the Yangtze–Cathaysia plate took place at about 850 Ma. Plates were closed completely and the Jiangnan orogenic belt was formed at about 760 Ma. Then the development of cover of South China continent began at 600 Ma. The Qinhang tectonic belt was affected by the southern structure and the remote effect of the north structures at 430 Ma and 220 Ma, respectively. Thrust nappe structure was widely developed at 160 Ma, while widespread extensional structures was developed at 140 Ma. The tectonic–magma–mineralization had close relationship. Then the Jiangnan belt continued to uplift and the South China became a thermo–upwelling.

Keywords: South China continent; Jiangnan orogenic belt; plate convergence belt; tectonic process; nappe structure

About the first author: SONG Chuazhong, male, born in 1954, professor, supervisor of doctor candidates, majors in tectonics and structural geology; E-mail: czsong69@163.com.

Fund support: Supported by China Geological Survey Program (No. DD20160082) and National Key Research and Development Project (No. 2016YFC0600201).

1 引言

华南大陆的结构、属性、过程与动力学一直是地质学家关注的热点。有关华南大陆的主要科学问题集中在新元古代的板块构造(舒良树等, 1995, 1999; 李江海等, 1999; 程光华等, 2000; Li et al., 2002, 2003, 2010; Li et al., 2003, 2009; Greentree et al., 2006; Ye et al., 2007; Li et al., 2008; 周金城等, 2008, 2009; 薛怀民等, 2010; 王自强等, 2012; 李献华等, 2012; Li et al., 2016; Xin et al., 2017)、早古生代的构造属性(Hayness, 1990)、中生代的构造岩浆与成矿(杨明桂等, 2009; 毛景文等, 2011), 以及中生代陆内复合构造(Hsü et al., 1988, 1990)等, 其中重大的科学问题是板块构造与大陆构造的成因与动力学机制问题(张国伟等, 2013)。

本文以钦杭构造带东段为主要研究地区, 通过精细的构造解析、变质变形研究、年代学分析, 结合反射地震剖面, 仅就以下若干内容开展讨论, 旨在探讨华

南大陆东部(钦杭构造带及其以东地区)几个科学问题, 为华南大陆构造的认知提供有效的依据。

2 钦杭构造带东段的构造单元

长期以来, 人们多从构造–成矿角度分析钦杭构造带的构造单元(陈光华, 2000; 杨明桂, 2009)。而从当今构造格架上, 钦杭构造带东段主要构造单元可划分为: 江南隆起(扬子板块东南缘构造带)、怀玉山构造带(汇聚拼合带)和华南隆起(华夏板块西北缘构造带), 其间两条界线为: 德兴–白际山–天目山断裂带(大致对应于赣东北断裂带)和江山–绍兴断裂带(图1)。

2.1 江南隆起

江南隆起早古生代以来持续隆升, 中生代陆内叠置, 主要分布在皖南和赣北地区, 曾称为扬子板块东南缘构造带, 主体为一套新元古代(840~780 Ma)浅变质火山–沉积岩系(Lin et al., 2000; 徐先兵等, 2015)。该浅变质岩系以棕黄色、灰绿色千枚

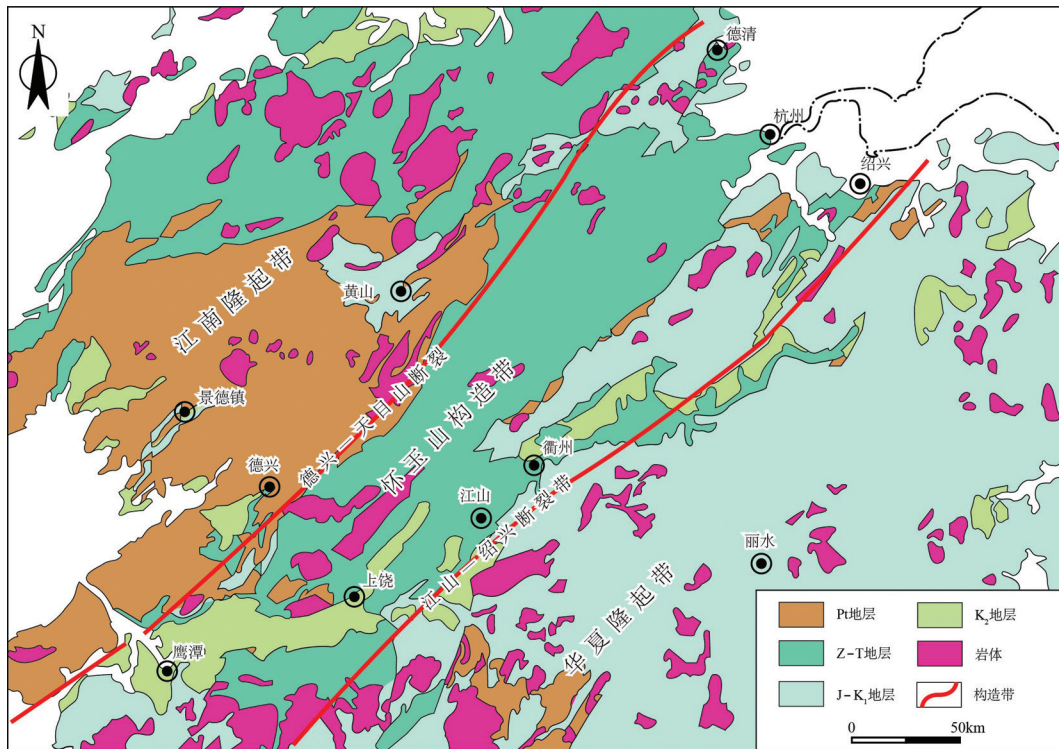


图1 钦杭构造带东段构造单元划分简图

Fig.1 The sketch map of division of tectonic units in the east section of the Qinhang tectonic belt

岩、青灰色板岩为主,变形程度北弱南强。带内常见薄层状的原始沉积层理(S_0)多被透入性的千枚理、板劈理(S_1)置换,形成中—强变形程度的复式直立褶皱(图2a)。向南变质变形程度增高,发育许多紧闭褶皱、等斜褶皱,常见褶皱转折端呈钩状结构。再向南到德兴香屯地区,岩层变形强烈,发育大量小型揉皱、圆柱状鞘褶皱(A型褶皱),褶皱枢纽水平(图2b),且平行于矿物生长线理和拉伸线理。带内偶见倾竖褶皱和不对称褶皱,指示新元古代右旋斜向平移的运动学特征。

值得注意的是,除了江南隆起周围发育有南华纪至早古生代的连续沉积外,在皖南、赣北一带的江南隆起腹地,早古生代以来一直暴露地表,只是在晚石炭世才有零星沉积。

另外,江南隆起内大量发育有逆冲推覆构造,推覆方向由南向北为主,偶有反向。多处可见,逆冲(推覆)构造面切开燕山期花岗岩体(134 Ma)的鹅岭岩体,或导致元古宙变质岩、南华纪砂岩、古生代地层等分别逆冲掩盖在侏罗纪砂砾岩、白垩纪砂砾岩和火山岩(132 Ma)之上。因此,中生代的构造挤压背景也是江南隆起形成的重要因素。

江南隆起的南界为德兴—白际山—天目山断裂带。该断裂带走向北东,西段大体对应于赣东北断裂带;西段位于浙西开化县之北与皖赣交界处,是扬子板块东南缘构造带与怀玉山构造带的分界线。断裂带最早形成于晋宁期,属于扬子—华夏板块汇聚带中的一条次级缝合线;后期遭受多期构造叠加。

2.2 怀玉山构造带

怀玉山构造带早古生代以来盖层沉积,中生代断裂褶皱,主体是扬子板块—华夏板块汇聚拼合带,后期由南华纪—早古生代以来的地层覆盖,主要分布在江西的怀玉山地区,向东延至浙江的千里岗、富春江一带。怀玉山构造带出露的主体地层是早古生代海相碎屑岩和碳酸盐岩系地层,少量出露新元古代浅变质的火山岛弧沉积岩系、中生代地层和零星的火山岩。

地表所见早古生代地层主要呈北东向展布,带内褶皱中等强度,主要存在两期褶皱变形,分别为北西向和北东向褶皱,其中北西向褶皱形成较早,较为紧闭。该构造带内北东向逆冲断裂带、北北东向左旋平移断层十分发育,断层脆性变形为主,产状变化较大,指示了华南大陆盖层变形的基本特点。

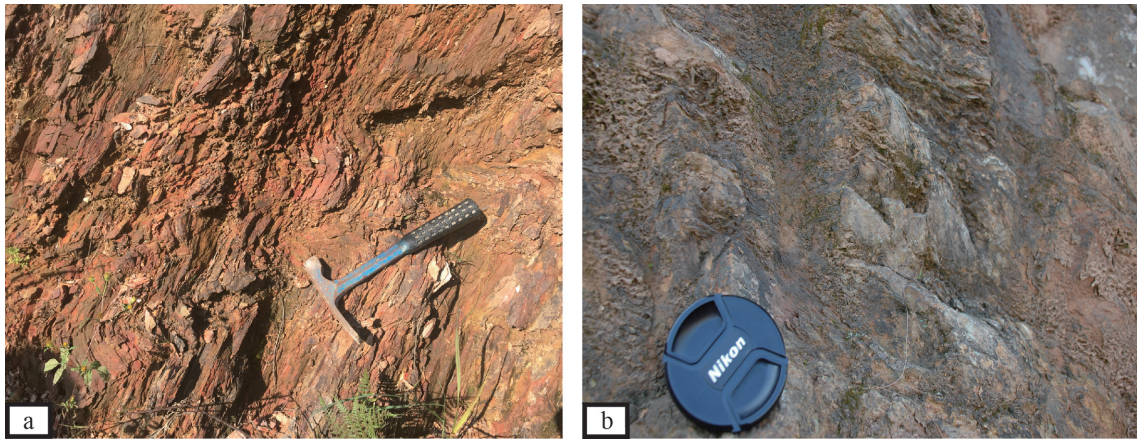


图2 江南隆起的构造变形

a—浮梁地区构造置换;b—香屯地区的鞘褶皱

Fig.2 Structural deformation of the Jiangnan uplift

a—The structural transposition in Fuliang area; b—Sheath folds in Xiangtun area

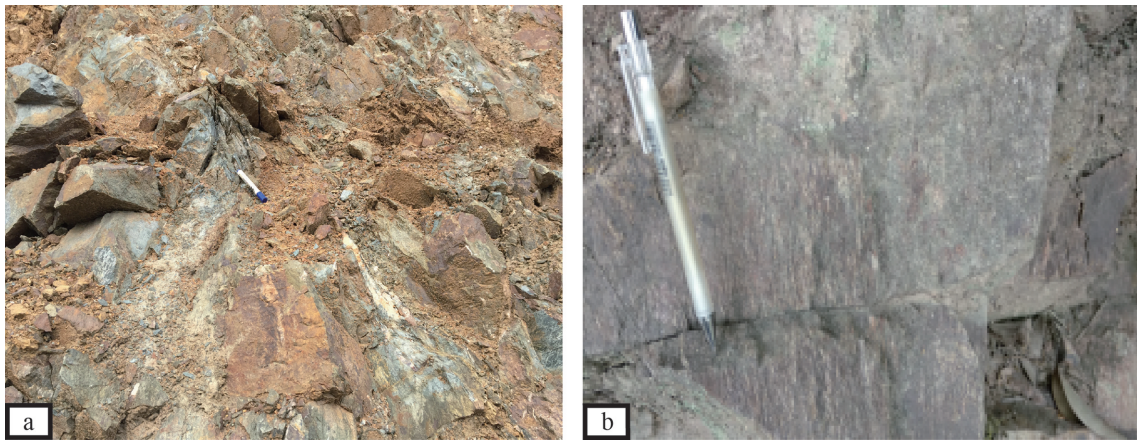


图3 黄山和溧浦地区韧性剪切带内的糜棱岩

Fig. 3 Mylonite in the ductile shear zone in Huangshan and Lipu area

怀玉山构造带内除了可见华南大陆基底的变形特征外,还零星出露了数条韧性剪切带,它们代表着新元古代不同块体拼合的古缝合带,并可以解析出当时板块俯冲-碰撞的几何学、运动学和年代学特征。

怀玉山构造带的南界为江山—绍兴断裂带。该断裂带经历了长期构造活动,中生代活动为主,且保存有新元古代扬子板块与华夏板块碰撞拼合带痕迹。具有以下几个明显特征:①多期活动的浅表构造破碎带。是发育在古生代—中生代地层中的脆性逆断层,北侧的怀玉山构造带以早古生代岩石为主体;南侧的华南隆起以中生代火山岩、花岗岩为主体。②新元古代不同岩系单元分界线。断

裂带北侧为新元古代低变质的火山-沉积岩系;南侧则为多期动力-热变质作用的中高级变质岩系;两者基底岩石的时代、变质程度、岩石类型截然不同。震旦系至下三叠统巨厚的海相沉积岩出露于断裂带北侧。③江南造山带板块缝合线的残块。沿断裂带,尤其是在绍兴、溧浦一带残存有强变形的韧性剪切带,构造岩由灰绿色-灰色初糜棱岩、糜棱岩及超糜棱岩组成,旋转残斑及拖尾、S-C组构、矿物定向排列、倾向线理和水平线理较为发育(图3),具有由南向北俯冲性质,应该是江南造山带内缝合线的保存。④地球物理、地球化学异常带。江山—绍兴断裂是一条地球物理场、地球化学场的分界线,沿断裂带分布着一系列的新元古代岩体。

2.3 华南隆起

华南隆起古生代陆内加厚,晚中生代以来岩浆热隆,是指江山—绍兴断裂带以南的地区,其北部曾称为华夏板块西北缘构造带,基底出露有限,为华夏板块西北缘卷入晚元古代江南造山带的部分;早古生代沉积有限,但普遍经历了加里东期变质作用(李献华等,1997;Wan et al.,2007);闽浙地区中生代仍然沉积有限,而早期的挤压构造和晚期的伸展构造奠定了华南隆起当今的构造格架。

华南隆起内加里东构造问题是人们长期关注的焦点:震旦系发生浅变质、强变形,成为石英岩;侵入于震旦纪地层中的闪长岩体,类似于混合岩(430 Ma),变质变形强烈;岩体表现出强烈的水平流动,发育大量的A型褶皱,其枢纽近水平。无疑区内加里东运动存在。

众所周知,陈蔡群为一套变质中基性火山—沉积岩,主体为深灰色斜长角闪岩及变粒岩,局部发生混合岩化。陈蔡岩群角闪岩中的锆石 SHRIMP 年龄,上、下交点年龄分别为(1781±21)Ma、(454±29)Ma (MSWD=2.0),其角闪石⁴⁰Ar/³⁹Ar 年龄为(422.4±5.1)Ma (MSWD=6.6),表明其成岩于古元古代末,经历加里东期变质。另外可见侏罗系砂砾岩直接角度不整合在陈蔡群之上。所以,华南东部的长期隆升成为华南大陆演化的重要特征,陈蔡群多有记录。

此外,华南隆起内同样多处可见逆冲断层或推覆构造和走滑断层。逆冲推覆构造多是由南向北推覆,导致元古宙变质岩、湮浦韧性剪切带逆冲掩盖在白垩纪火山岩之上;陈蔡群由南向北分别逆冲到湮浦韧性剪切带和侏罗系砂砾岩之上。因此,中生代的构造挤压背景也是江南隆起形成的重要因素。

华南隆起内更值得关注的还有燕山期的岩浆活动和火山爆发。燕山期岩浆活动在华南地区分布最为广泛,岩石类型丰富多样,从中性—中酸性—酸性岩均有分布演化时间长,为180~90 Ma,且与成矿关系密切。无论对中生代华南地区岩浆活动的成因机制、华南大陆的构造活动方式以及华南大陆的构造属性如何认识,但这一时期由岩浆热构造活动引起的区域性隆升现象明显存在。

另外,华南隆起内滑覆构造发育。随处可见震旦系铁红色浅变质石英砂岩中产生大量绢云母,被后期面理牵引,表现为上盘下降、滑覆的运动学特征。

3 扬子—华夏汇聚带的结构与形成环境

板块缝合带是识别板块构造存在的最重要标志,而蛇绿岩套、增生楔和剪切带是研究造山带形成和演化最有力的抓手(周新民,1989;邢凤鸣,1992;赵建新,1995;Li,1997;李献华,2000;Gao,2008;Yin et al.,2013;Zhang et al.,2013,2015;王存智,2015;王孝磊,2017;李源,2017)。近期更多的研究资料表明,扬子—华夏板块的汇聚带是由多条断裂带(缝合带),多个小板块汇聚而成的宽约200 km的板块汇聚带。

长期以来,人们一直把江山—绍兴断裂带作为扬子—华夏板块的缝合带(陈光华,2000;杨明桂,2009)。近期研究表明,在钦杭构造带东段,至少有4条具有缝合带性质的断裂带(景德镇—歙县断裂带、德兴—白际山断裂带、横峰—建德断裂带和湮浦—绍兴断裂带)组成扬子—华夏板块汇聚带,均以韧性剪切带的变质—变形为主要标志(图4),具有先斜向汇聚,后右旋走滑的运动学过程。

3.1 景德镇—歙县断裂带

景德镇—歙县断裂带是当今所见的扬子—华夏汇聚带中最北部的一条缝合带,主要沿景德镇、歙县一带分布,NE向展布,沿该带分布有以皖南伏川蛇绿混杂岩为代表的晚元古代的基性岩块和构造片麻岩、构造片岩、糜棱岩等一系列构造岩(图5),经历了高绿片岩相—低角闪岩相变质—变形环境。

景德镇—歙县断裂带表现为强变形构造带,发育有大量小揉皱和矿物生长线理、拉伸线理,主要为倾向线理或斜向线理,形成时主挤压应力方向(σ_1)为150°左右。

带内变形岩中矿物显微构造变形普遍发育,主要有旋转残斑系、云母鱼(图6)、扭折带、变形纹、动态重结晶和S-C组构等。

歙县岩体、许村岩体、体宁岩体是景德镇—歙县断裂带内的主要岩体,对其通过LA-ICP-MS锆石U-Pb定年分析,分别获得(828.1±9.0)Ma、(831.1±10)Ma、(826.9±9.6)Ma的年龄(图7),指示了皖南同构造花岗闪长岩的活动年代。

3.2 德兴—白际山断裂带

德兴—白际山断裂带(缝合带)西起江西万年

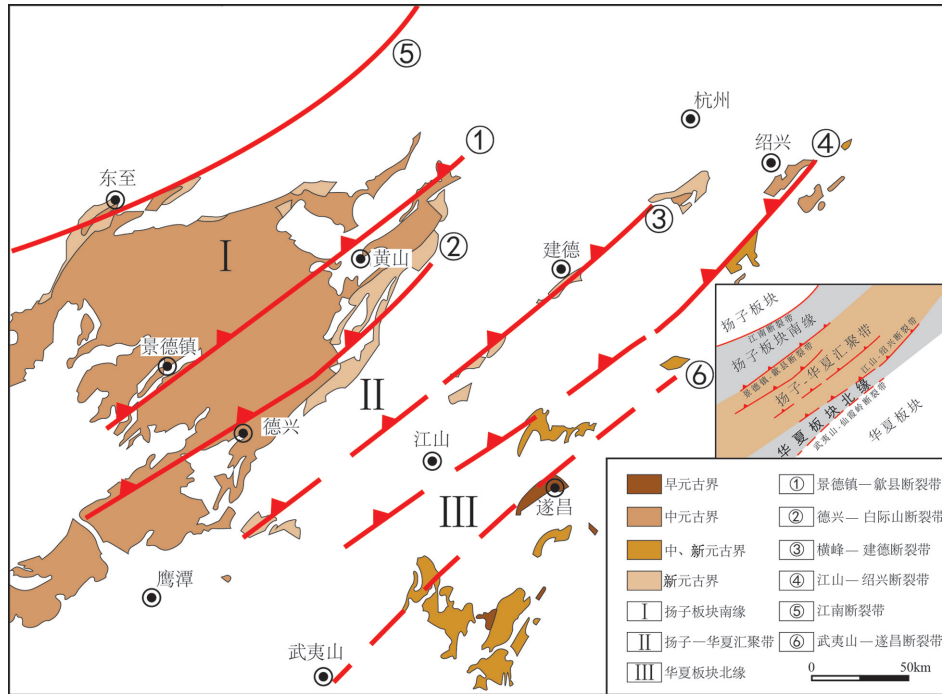


图4 扬子—华夏缝合带构造略图

Fig.4 The tectonic sketch map of suture zone between Yangtze and Cathaysia blocks

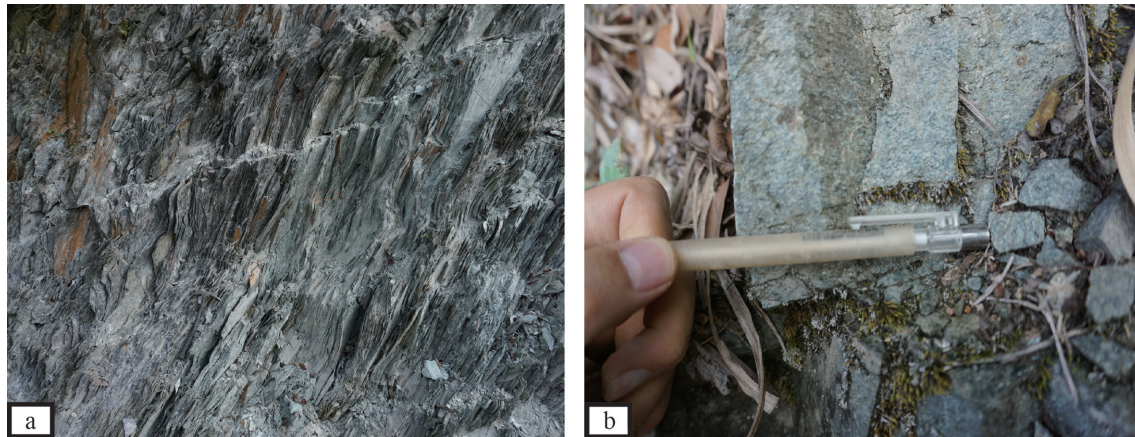


图5 景德镇—歙县断裂带内构造片岩和糜棱岩

Fig.5 The tectonic schist and mylonite in the Jingdezhen– Shexian fault belt

经德兴、白际山,进入皖南黄山境内。带内分布有目前华南公认的蛇绿岩,只是受后期断裂北东向平移牵引成北东向。该带内板块碰撞过程中的构造变形十分典型,德兴香屯一带大量的构造片岩、水平A型褶皱束;主要线理有水平线理和斜向线理两类,斜向线理可能在板块汇聚过程中形成,而水平线理里应该是晚期碰撞走滑过程的产物,峰期变质变形温度在500℃左右,属于高绿片岩相—低角闪岩相,中地壳产物。

在皖浙赣结合处灵山、莲花山、白际山同构造花岗岩的发育,是德兴—白际山断裂带活动最重要的标志,构造岩为一系列的初糜棱岩、糜棱岩,超糜棱岩。透入性的糜棱岩面理由被拉长压扁的长石、石英、云母等矿物相间定向排列而成,走向北东,与德兴—白际山缝合带的整体延伸方向基本一致。顺糜棱面理有大量斜向发育的矿物拉伸线理、生长线理和S-C组构,指示了南盘向北东斜向俯冲的运动学特征(图8a、b)。

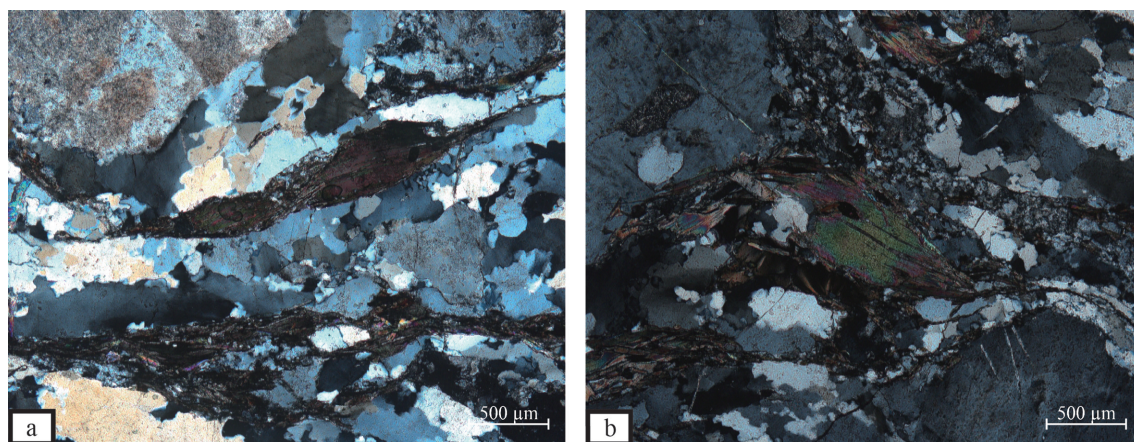


图6 景德镇—歙县断裂带石英动态重结晶和云母鱼

Fig.6 The dynamic recrystallized quartz and mica fish in the Jingdezhen-Shexian fault belt

显微镜下普遍发育矿物波状消光、核幔构造、亚颗粒、动态结晶、旋转残斑、书斜构造、 σ 型旋转斑晶系、S-C组构和蠕英构造等现象(图8c、d)。

德兴—白际山断裂带中同构造花岗岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年代学测试的结果为:灵山岩体(783±14)Ma, 莲花山岩体(780±12)Ma(图9), 揭示了皖浙赣交界处同构造花岗岩的活动年龄。

3.3 横峰—建德断裂带

横峰—建德断裂带沿横峰、上方、建德、桐庐一带呈 NE 向展布, 弋阳樟树墩蛇绿岩、前南华纪基底岩石的韧性剪切带分布带内, 形成构造片岩、初糜棱岩、糜棱岩等(图10)。该断裂带内还发育大量的揉皱及膝褶, 暗色矿物被拉长, 定向排列, 可见 S-C 组构, 以及代表不同运动方式的斜向线性和水平线理。带内发育有构造透镜体状, 拖尾现象明显, 由北盘向南盘逆冲所致。而后期盖层岩石中并未发生动力变质变形作用。

显微镜下多见晶内裂隙、长石机械双晶、波状消光、压力影, σ 型旋转残斑系等; 动态重结晶机制主要为膨凸重结晶到亚颗粒旋转; 变质变形温度 500 °C 左右, 变质相属于高绿片岩—低角闪岩相, 相当于中地壳产物。

横峰—建德断裂带内导致岩石变形的压应力方向(σ_1)为 140°左右(图11)。

3.4 江山—绍兴断裂带

江山—绍兴断裂带是扬子—华夏汇聚带最南部的一条次级缝合带, 在平水、湟浦、璜山一带出露

最好, 呈 NE 向展布, 卷入断裂带的岩石广泛片理化和糜棱岩化。该断裂带在湟浦、绍兴一带为一条典型的韧性剪切带, 内广泛发育长英质糜棱岩, 构造变形强烈; 后期被陈蔡岩群由南向北逆冲掩盖。

该断裂带内发育有灰绿色糜棱岩化岩石、初糜棱岩、糜棱岩、超糜棱岩, 千糜岩等(图12a、b); 南部受后期脆性逆冲断层的影响, 分布有脆性变形的岩石—碎裂岩。

江山—绍兴断裂带内显微变形构造特别丰富, 主要有显微裂隙、波状消光、条带构造、双晶纹弯曲、机械双晶、旋转斑晶、云母鱼和 S-C 组等(图12c、d、e、f)。

该断裂带内长石主要变形为显微破裂、机械双晶、双晶纹弯曲、旋转斑晶系等, 以中低温条件下变形为主; 动态结晶机制主要为颗粒边界迁移式和膨凸式重结晶, 并出现亚颗粒旋转结晶作用, 变质相为高绿片岩相(400~500 °C)—低角闪岩相(500~600 °C), 相当于中地壳形成环境。

通过 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年, 测得到江山—绍兴断裂带变形花岗岩(糜棱岩)的年代学测试的结果为(902.1±9.8)Ma、(898.1±8.8)Ma、(811.1±7.8)Ma(图13), 代表了同构造岩浆活动的年龄。

4 江南造山带的结构、过程与属性

江南造山带作为中国华南大陆内的重要造山带, 扬子板块和华夏板板块俯冲碰撞、汇聚拼合的演化过程和构造属性一直是大家关注的重要科

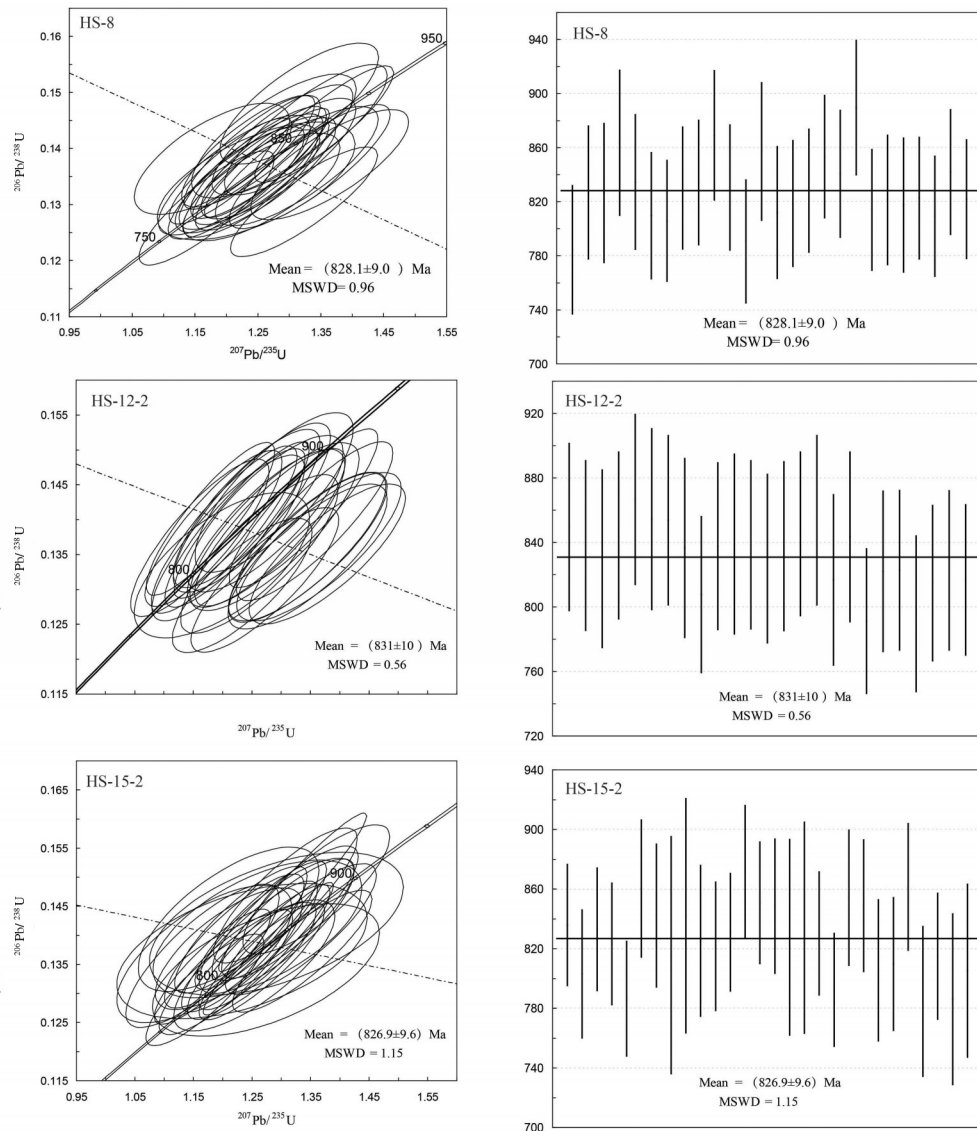


图7 歙县、许村、休宁花岗闪长岩岩体锆石年龄谐和图

Fig.7 LA-ICP-MS zircon U-Pb concordia diagrams for Shexian, Xucun and Xiuning granodiorite

学问题(郭令智等,1984;周新民等,1988;Hsü et al., 1988, 1990;徐备,1990;Hayness,1990;舒良树等, 1995, 2012; Charvet et al., 1996;程光华等,2000;Li et al., 2003, 2009; Greentree et al., 2006; Ye et al., 2007; Wang et al., 2007, 2008;周金城,2009;Li et al., 2010;李献华等,2012;高林志,2012;张国伟等, 2013;Li et al., 2016;Xin et al., 2017)。

4.1 江南造山带的基本结构

近期研究认为,江南造山带是前寒武纪扬子板块和华夏板块俯冲碰撞、汇聚拼合的产物,其范畴主要限于江南断裂带与武夷山—遂昌断裂带之间,

具有成因联系的构造带内。

江南造山带内可划分为3个构造单元:扬子板块南缘、扬子—华夏汇聚带和华夏板块北缘,其间分别由景德镇—歙县断裂带、江山—绍兴断裂带将其分开,江南断裂带和武夷山—遂昌断裂带分别为江南造山带的北、南边界断裂带(图4)。由北向南,主要构造特征如下:

江南断裂带:江南断裂带虽然是一条多期活动的断裂带,但最重要的特征是对早古生代地层厚度、岩相、岩性、生物群等具有的明显控制作用,成为两个地层分区的界线;西北侧属下扬子地层分

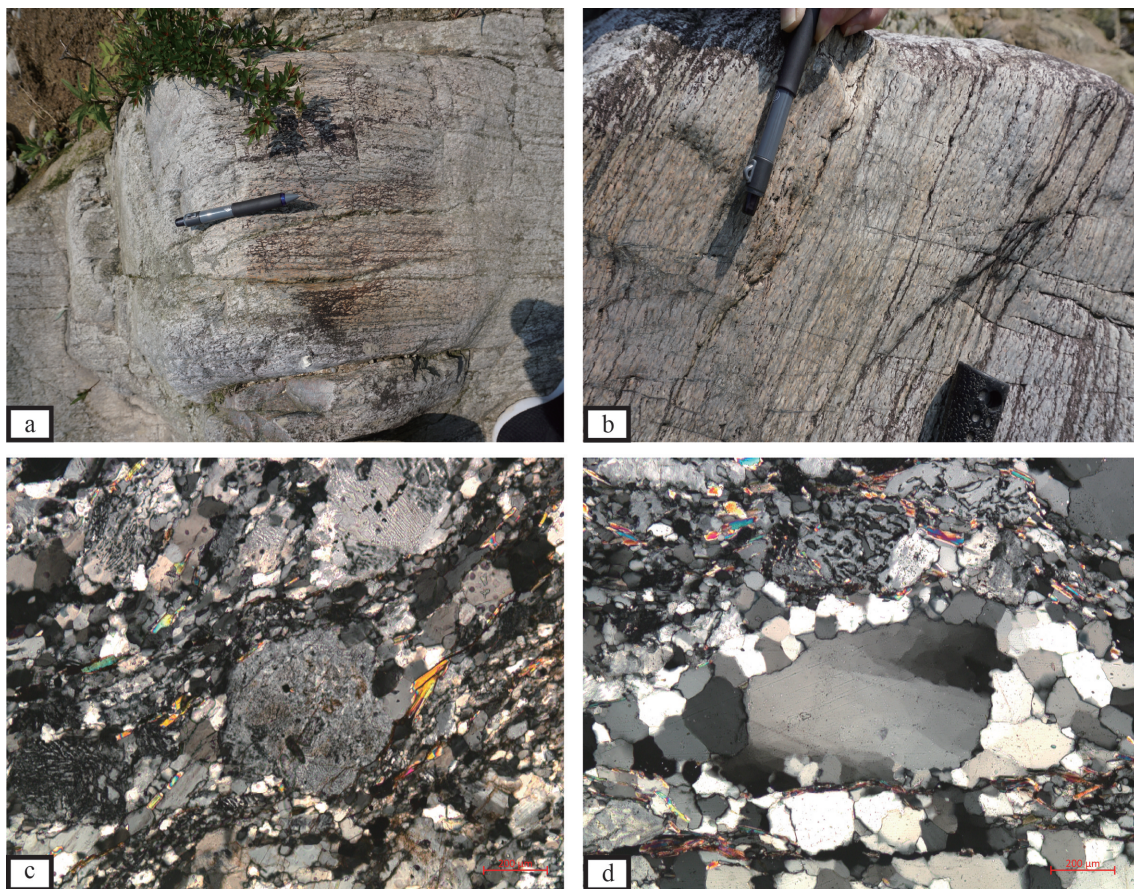


图8 德兴—白际山断裂带内糜棱岩构造特征

a、b—糜棱岩变形；c—旋转斑晶系；d—核幔构造

Fig.8 The structural characteristics of mylonites in the Dexing-Baijishan fault belt

a, b-Deformed mylonites; c-Rotation of porphyroblast; d-Core and mantle structure

区,东南侧属江南地层分区。但由于古生代以来沉积盖层的覆盖,新元古代的构造变形无法观察,但作为早古生代构造—古地理的分界线,足以证明江南断裂带新元古代存在明显的构造活动,可以作为江南造山带的北缘断裂带。沿该带新元古代—早古生代的沉积是否具有“前陆盆地”的性质,值得进一步深入研究。

扬子板块南缘:主要分布一套晚元古代浅变质火山—沉积岩系,是扬子板块南缘卷入江南造山带的构造变形带。构造变形程度北弱南强,一般由千枚理、板劈理到直立褶皱,再到紧闭褶皱、等斜褶皱、钩状褶皱,愈靠近造山带内部构造变形愈强。

景德镇—歙县断裂带:位于扬子板块南缘与扬子—华夏汇聚带之间,是扬子—华夏汇聚带中最北部的一条缝合带,分布有新元古代的蛇绿混杂岩等基性岩块,以及构造片麻岩、似构造片岩、糜棱岩等。

扬子—华夏汇聚带:由多条断裂带(韧性剪切带),多个小板块汇聚而成的宽约200 km的板块汇聚带,也是江南造山带内变质—变形最强的构造带,其主体是3个小板块以及其间的德兴—白际山大陆带和横峰—建德断裂带。

江山—绍兴断裂带:位于扬子—华夏汇聚带与华夏板块北缘之间,是扬子—华夏汇聚带最南部的一条次级缝合带,由于被古生代以来地层的掩盖和构造活动的影响,只在东段的湴浦、平水一带出露新元古代缝合线的变形记录。

华夏板块北缘:是指江山—绍兴断裂带以南的地区,为华夏板块西北缘卷入新元古代江南造山带,并参与造山带构造变形的重要组成部分,由于后期覆盖,基底出露有限,构造变形仍然强烈。

武夷山—遂昌断裂带:发育在邵武、武夷山、遂昌一带。该断裂带西段加里东花岗岩活动明显,是

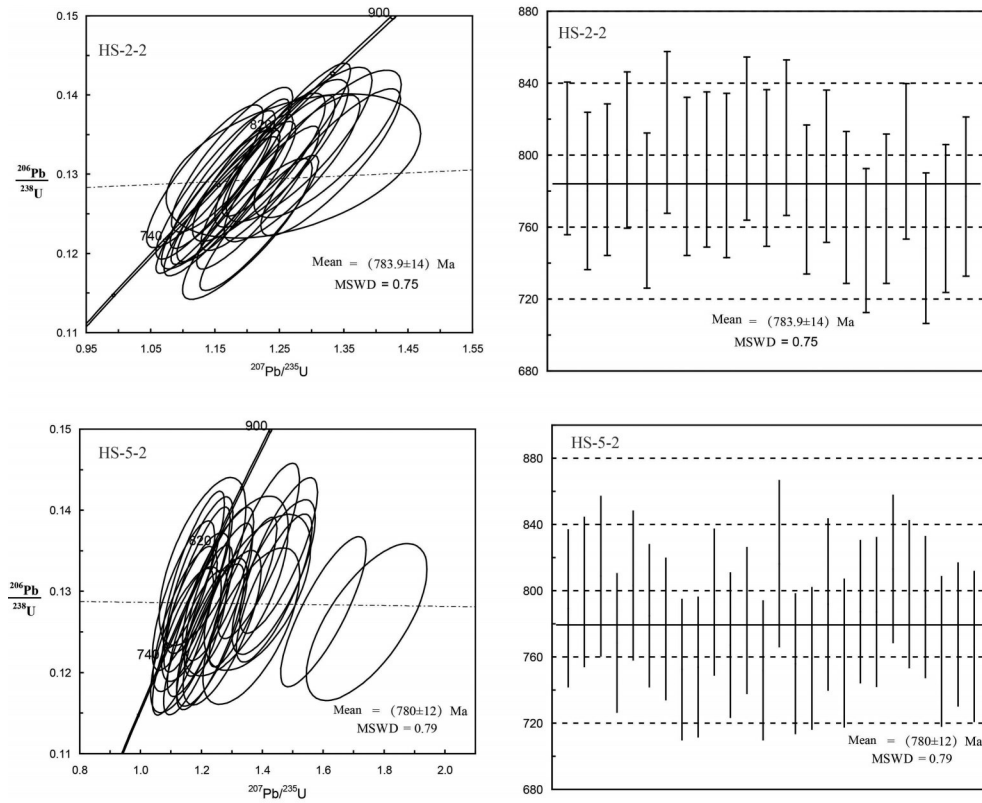


图9 德兴—白际山断裂带内同构造花岗岩锆石U-Pb年龄谐和图
 HS-2-2—灵山岩体; HS-5-2—莲花山岩体

Fig.9 The concordia diagrams of U-Pb analyses of zircons from syntectonic in Anhui-Zhejiang-Jiangxi border area
 HS-2-2-Lingshan granite; HS-5-2-Lianhuashan granite

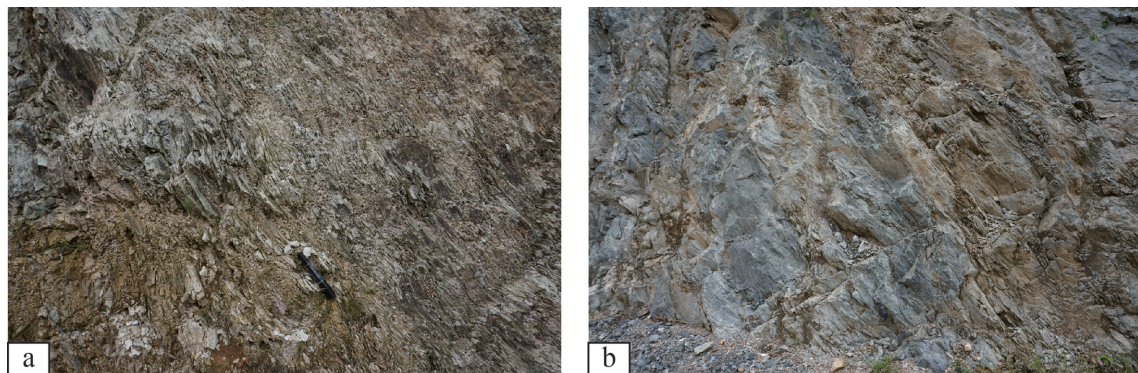


图10 横峰—建德断裂带内的构造片岩和糜棱岩

Fig.10 The tectonic schist and mylonite in the Hengfeng-Jiande fault belt

闽西地区寒武系地层分布的北界; 东段遂昌、陈蔡一带韧性剪切带发育, 又是南北不同物质、不同变形的分界线, 可作为江南造山带的南缘断裂带。

4.2 江南造山带的汇聚过程

研究表明, 扬子—华夏板块汇聚带形成过程中不同时期阶段、不同构造部位活动强度和活动方式

的差异性甚为明显, 主要特征如下:

(1) 时代学数据显示, 扬子—华夏板块汇聚带最南侧溇浦—绍兴缝合线形成时间相对最早(811 Ma、898 Ma和902 Ma), 最北侧的景德镇—歙县缝合带形成时间相对稍晚(826 Ma、828 Ma和831 Ma), 其间的德兴—白际山缝合带持续时间最长(780 Ma和783

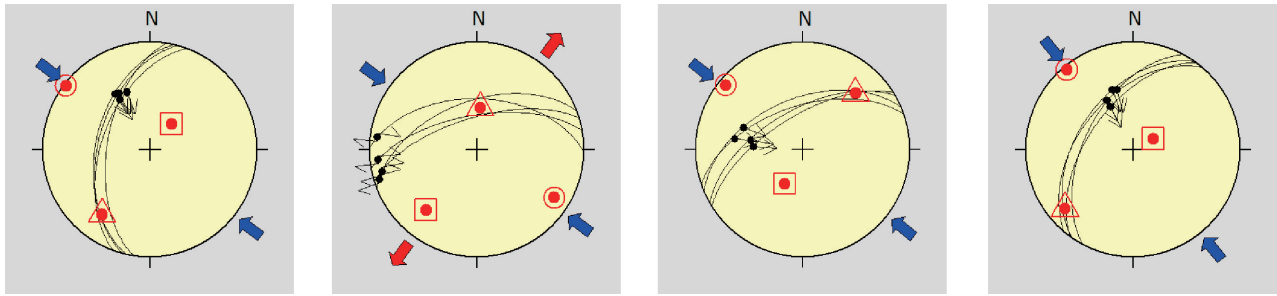


图 11 横峰—建德断裂带应力状态
Fig.11 The stress state of the Hengfeng-Jiande fault belt

Ma),甚至更晚(760 Ma)。由此可见,扬子—华夏板块的汇聚拼合大约是从900 Ma开始,850~780 Ma进入活动高峰期,直到760 Ma才最后全面闭合;而且具有南早北晚、中部最晚的演化过程。

(2)扬子—华夏板块汇聚带中4条缝合带均发育有指示斜向俯冲的构造线理,以右旋斜向俯冲的方式,南盘向北俯冲;而德兴—白际山缝合带和横峰—建德缝合带内除了保存有斜向线理外,还有稍晚发育的水平鞘褶皱和拉伸线理,具有右旋走滑运动的痕迹。因此,汇聚带形成过程应该是先斜向俯冲,由南向北发展;后右旋走滑,集中在中部;最后可能是南、北两条边界断层形成。

(3)扬子—华夏板块的汇聚拼合大约是从900 Ma开始,直到760 Ma才最后全面闭合。整个汇聚过程明显表现出以韧性剪切带、紧闭直立等斜褶皱、钩状褶皱,构造置换为标志的先俯冲,再碰撞的运动方式;以水平构造线理和鞘褶皱、右旋斜冲剪切带为标志的后走滑的运动方式。可见,扬子—华夏板块汇聚带具有递变式的汇聚拼合过程。

(4)按照造山带形成、演化的一般规律分析,扬子—华夏板块900~760 Ma的汇聚拼合作用,应该属于江南造山带的主造山期;而早古生代江南造山带腹地的隆升剥蚀,可以认为是后造山期;随后,便进入与扬子—华夏板块汇聚无成因联系的华南陆内构造的发展阶段。

4.3 江南造山带的构造属性

元古宙板块构造的汇聚方式可能不同于古生代以来板块构造的汇聚方式,存在较大差异。早期结晶、拉伸的华南陆壳,只是结晶基底构成的若干“软块”,到新元古代仍未盖层发育;“软块”之间的汇聚、拼合自然不同于“刚性块体”之间的俯冲、碰撞。可以

想象,届时的软块汇聚势必难以形成古生代以来壳幔意义上的刚性板块俯冲、碰撞方式,可能也难以形成“沟-弧-盆”体系、“深俯冲”以及“双变质带”之类的当今板块构造的标志。因此,江南造山带为我们提出了一个研究元古宙板块构造的新思路。

扬子—华夏汇聚拼合带在洋底物质分布和变质-变形带规模等方面与通常认识的板块缝合带有诸多的区别,揭示了晋宁期华夏板块与扬子板块特殊的碰撞拼合方式,具有“软碰撞”特征:

(1)在洋底物质分布方面:(蛇)绿岩带通常作为板块缝合带的主要标志之一。该汇聚带内(蛇)绿岩带出露零星,发育面广,非线形分布,几乎遍及赣东北、皖南、浙西所有新元古界岩群出露的地区,未变质变形。而通常板块缝合带内的蛇绿岩多是线状分布。

(2)在缝合带的规模与分布方面:扬子—华夏汇聚带内,至少发育有4条缝合线,故具有条数多、变形强、分布广,断续展布的特征。单条强变形的缝合线(韧性剪切带)规模不一,类线形展布,分布广泛,变形强烈,但有后期盖层覆盖、构造叠加的影响,当今出露零星。

(3)在岩石变质程度方面:扬子—华夏汇聚带内岩石的变质程度普遍较低,属于绿片岩相或低绿片岩相;岩石类型多为板岩、千枚岩或浅变质砂岩、泥岩,大量岩石甚至未变质。该变质程度说明,可能当时板块俯冲深度有限,或后期折返抬升不强。

(4)新元古代同构造岩浆活动明显,在强变形的构造带上,多发育有同构造花岗岩(曾称片麻状花岗岩),岩石变形强烈,后阶段形成长英质糜棱岩、超糜棱岩。变形矿物多为石英、长石,无云母出现,透入性的矿物生长线理、拉伸线理,属

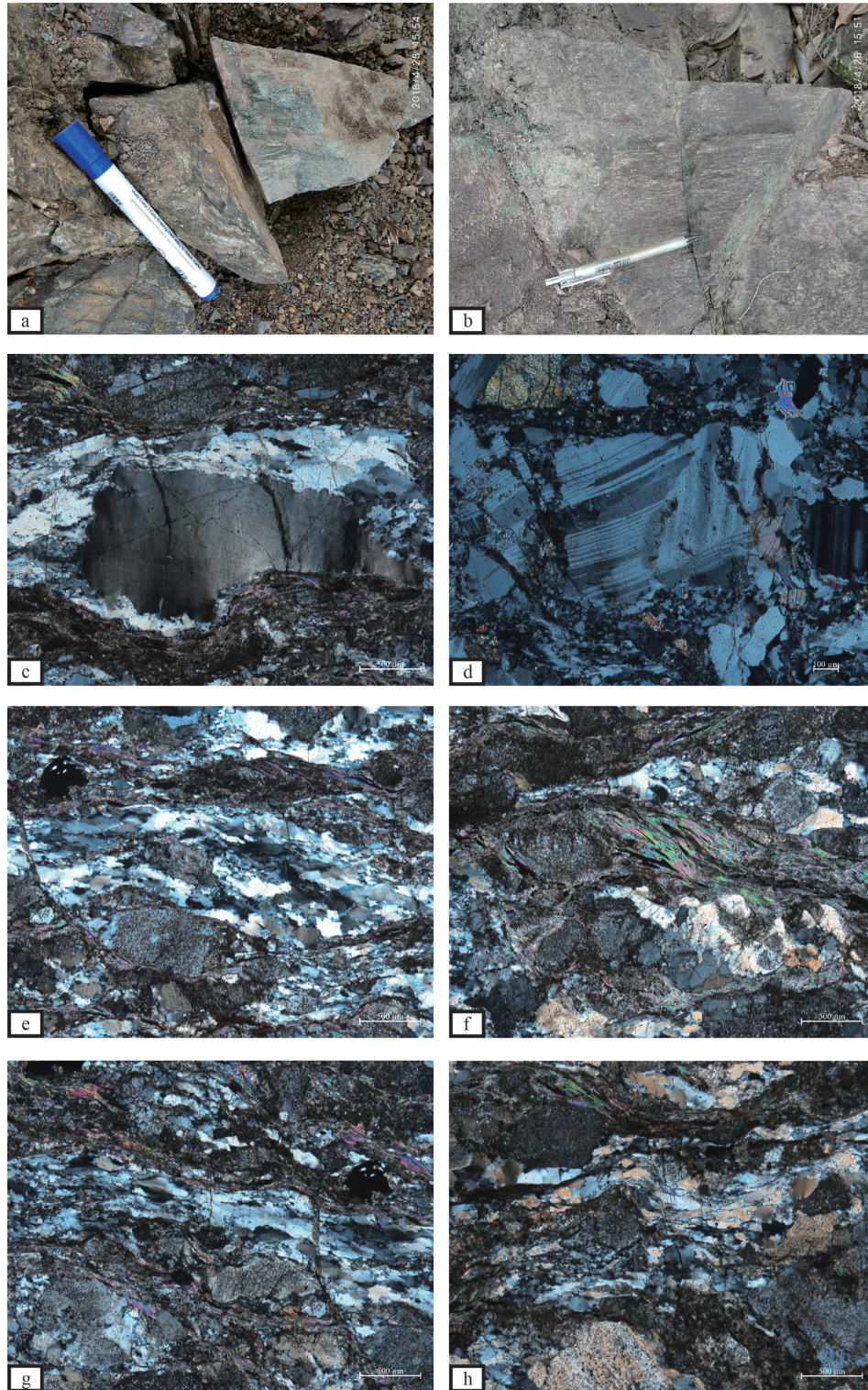


图 12 江山—绍兴断裂带的构造变形特征

a—超糜棱岩;b—糜棱岩;c—核幔构造;d—动态结晶;e—云母鱼;f—旋转斑晶系

Fig.12 The structural characteristics of the Jiangshan—Shaoxing fault belt

a— Ultra-mylonite; b— Mylonite; c— Core and mantle structure; d— Mechanical twinning; e— Mica fish; f— Rotation of porphyroclast

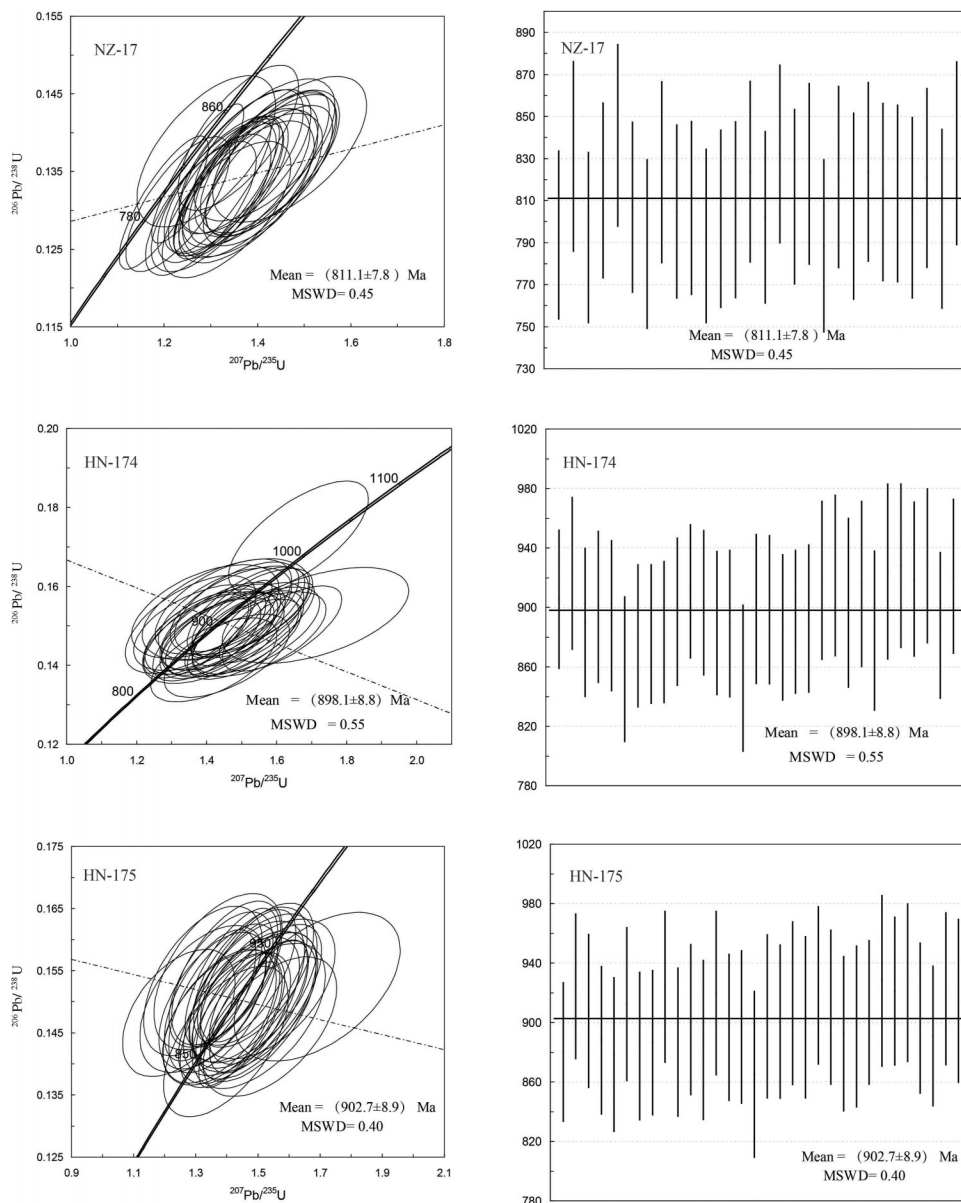


图13 江山—绍兴断裂带岩石锆石U-Pb年龄谱和图

Fig.13 The concordia diagrams of U-Pb analyses of zircons from syntectonic granite in the Jiangshan-Shaoxing fault belt

于倾向线理,代表了南盘向北盘的俯冲下降,指示了南侧板块相对于北侧板块,具有右旋斜冲为主的特征。

(5)在应力作用强度与俯冲深度方面:当今所见,扬子—华夏汇聚带内多为低变质、强变形的物质,蛇绿岩更是如此;显示出当时俯冲、碰撞的温度、压力条件较低,板块的俯冲深度有限;不难推测,或当时的地壳不够刚性,或物质形成环境较浅,或后期抬升较弱。

5 华南大陆中新生代的构造转换

5.1 华南大陆东部逆冲断层

华南大陆东部主要构造为一系列北东走向褶皱和与之相伴的一组北东走向的逆冲断层。平面上,北东向褶皱与逆冲断层相伴随,剖面上,倾向南东的逆冲断层占主导地位,褶皱轴面倾向北西和倾向南东的均有发育,并在靠近逆冲断层处变形更为强烈。

值得注意的是:在地壳范围内,上述逆冲断层

实际具有推覆构造的性质,区内至少发育两期倾向南东的推覆构造。该构造多呈叠瓦状组合,由南向北逆冲,多处可见新元古界向北逆冲在古生界,甚至侏罗系砂砾岩、白垩系砂砾岩和火山岩之上,并切割燕山期花岗岩(134 Ma)。该类断层可下切到中—下地壳。

根据景德镇—武夷山地质廊带上的地表观测和地震反射剖面解释分析,以下4条逆冲断层尤为重要。

景德镇—鹅湖断裂带:该断裂带揭露在景德镇、鹅湖一带,东经歙县。该断裂带由一系列逆冲断层组成,将鹅湖花岗岩体(134 Ma)切成若干条带,说明景德镇—鹅湖断裂带形成于134 Ma之后。主要构造岩是由花岗岩体被破坏后形成的碎裂岩、碎粉岩,断层面倾向南,倾角较缓,产状多为 $135^\circ \angle 8^\circ$ 。通过X型共轭剪节理测得,断裂带形成时的主压应力方向为 $\sigma_1=160^\circ$ 。反射地震剖面中表现为,在较透明区带中倾向南的反射波组十分清晰,宽约2 km,向下切割大约10 km,然后逐渐平缓,并协调于中地壳(水平流变层)。

德兴—新岗山断裂带:该断裂带揭露在德兴、新岗山一带,向东延至浙江。德兴铜矿区出露一套构造片岩,发育一系列断裂带,多期构造活动强烈。构造岩主要有碎裂岩、碎粉岩、角砾岩等,断层产状为 $180^\circ \angle 25^\circ$;根据断层面与擦痕产状恢复的主压应力为 $\sigma_1=160^\circ$ 。反射地震剖面图中表现为,定向明显,相互平行,最强烈的反射波组至少有四条,倾向南的反射波组,向下可以切过约15 km深处的中地壳,进入下地壳;平行排列。

上饶—玉山断裂带:该断裂带揭露在上饶一带,向东经玉山,可能延到浦江地区。该断裂带位于白垩纪上饶盆地的北缘,上饶枫岭头地区发育一逆冲断层及张性次级断层。逆断层产状 $167^\circ \angle 60^\circ$,主压应力为 $\sigma_1=170^\circ$ 。旁侧可见大量正性断层,产状 $127^\circ \angle 67^\circ$ 。反射地震剖面图中表现为十分强烈、倾向南的反射波组,向下切入约15 km深处的中地壳内逐渐平缓。作为一条多期活动的断裂带,后期倾向南的正断层明显表现出同生正断层的性质,是在早期逆断层的基础上发育起来的;上饶盆地为一箕状盆地,北深南浅,是南盘边下降,南侧上饶盆地边沉积的结果。反射地震剖面还揭示出,在上饶—玉山断裂带南侧上饶盆地基底的最大埋深可达5 km,

并且不同时期的沉积超覆关系十分清楚。

石塘—沙田断裂带:该断裂带揭露在永平、石塘一带,向东至沙田一带。该断裂带在上饶永平镇鲤鱼洲出露最好。一系列逆冲断层,产状 $165^\circ \angle 68^\circ$,带内岩性有:云母片岩、糜棱岩、角砾岩、碎粉岩、碎裂流、巨厚层伟晶岩等。并可见后期的正断层,产状 $291^\circ \angle 58^\circ$,属于上饶盆地南界的次级断层。反射地震剖面图中的反射波组倾向南,多条相互平行的反射波组向下切过约15 km深处的中地壳进入下地壳。

值得注意的是:该断裂带在埋深约5 km的深部,出现一团厚度5~6 km的透明空白区,“吞没”连续的断裂带反射波组。该空白区边界清晰,形态规则,向南上升,并在地表露头处为燕山期花岗岩。该现象说明:反射地震揭示的透明空白区是燕山期花岗岩体。岩体“吞没”连续的断裂带反射波组,说明花岗岩侵入的时代晚于石塘—沙田断裂带的形成时代。

5.2 华南大陆东部伸展构造

在印支晚期—燕山早期的逆冲、走滑构造活动之后,燕山晚期华南大陆区域性伸展构造广泛发育。皖浙赣地区多处可见低角度正断层和平卧褶皱等滑覆构造,发育在震旦系等地层之内的滑覆构造尤为典型,在江西、浙江一带多是上盘向北滑动(图14);同时,大规模岩浆活动、火山活动,以及与其有关的大规模的热液成矿;华南大陆持续的伸展作用,形成了以闽西北为中心的“华南热隆”构造,而基底与盖层的界面则成为主要拆离滑脱面。

另外,在燕山晚期华南大陆区域性伸展过程中,先期形成的逆冲断层多转换为正断层的性质,并成为区内控岩、控矿的主要断裂系统。

可见,在太平洋板块的作用下,燕山期的华南大陆在应力作用方式、应力作用方向和应力作用性质等方面,都是一个重要的转换时期,这是一个复杂的深部过程与浅部响应的过程。

6 华南地区主要构造过程与重要地质事件

钦杭构造带东段自晋宁期到喜马拉雅期构造运动俱全,但总体看来活动强度不大,升降幅度有限。该演化特征基本揭示了华南大陆形成与演化的构造过程(图15)。

6.1 晋宁晚期

扬子—华夏板块经过了递进式的汇聚(图15a)、拼合过程后,大约在760 Ma全面闭合(图15b),形成宽度约200 km的板块汇聚带,包括景德镇—黄山断裂带、德兴—白际山断裂带、横峰—建德断裂带和江山—绍兴断裂带等四条缝合带;江南造山带诞生,华南大陆初步形成,从而进入华南陆内构造过程。

6.2 加里东期

大约自600 Ma开始,除江南造山带腹地长期暴露地表(江南古陆)外,华南陆内盖层逐渐发育(图15c);标志性的基底与盖层的界线成为这一时期全球性的构造事件的特殊载体;在430 Ma前后,武夷—云开造山作用产生,陈蔡岩群变质变形,此时的江南造山带也受到南部陆内造山作用的影响(图15d)。

6.3 印支期

经过海西期相对稳定的发展之后,印支晚期(220 Ma)在特提斯构造体制下华南板块与华北板块全面闭合,以秦岭—大别造山带为代表的挤压构造形成;研究区可能源于北部陆内造山作用的远程效应,古生代及其之前的地层普遍产生褶皱和平行于褶皱枢纽的逆冲断层,江南古陆再次隆升(图15e)。

6.4 燕山早期

燕山早期(160 Ma)在太平洋构造体制下,中国东部和南部表现为脉动式挤压活动,近东西向的褶皱群、北东向左旋斜冲断层和近南北向左旋平移断层产生,基本奠定了华南大陆当今的构造格架。标

志性的侏罗纪地层经历了一次强烈的构造事件(图15f),或发生褶皱和断层,或被老地层逆冲掩盖,或被左旋平移断层错开。

6.5 燕山晚期

华南中生代挤压向拉张构造转换的重要时间是150~140 Ma;燕山晚期(140~120 Ma)岩浆大爆发是华南地区最重要的构造热事件,也是伸展构造活动的重要标志(图15g)。巨量的火山活动遍及整个华南地区,尤其在浙闽沿海地区尤为显著;岩浆岩石类型丰富多样,以花岗岩为主;伸展构造是区内“构造—岩浆—成矿”系统不可缺少的重要环节。

燕山晚期(100 Ma)持续的区域性脉动式拉张,持续的岩浆活动,导致华南地区一直处于持续性的区域性伸展背景,构造运动的形式依然是以岩浆活动背景下的区域性隆升为主(图15h),以闽西为中心的“华南热隆”产生。

6.6 喜马拉雅期

燕山晚期开始的区域性伸展大概延续到喜马拉雅早期(60 Ma)前后;随后,中国东部大量红色盆地(K₂—E₁)反转,燕山期花岗岩(134 Ma)被逆冲断层破坏,大量白垩纪火山岩(132 Ma)被逆冲掩盖老地层之下;大约在始新世(56 Ma)又发生了一次近东西向的挤压构造作用。

7 结 语

(1)江南造山带分为扬子板块南缘、扬子—华夏汇聚带和华夏板块北缘3个构造单元,其间分别

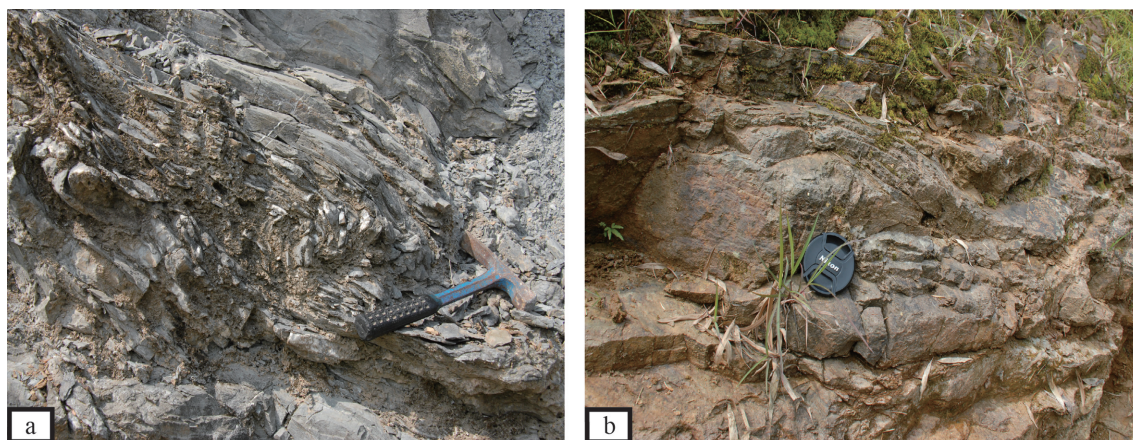


图14 江西、浙江地区的滑覆构造

a—上饶地区震旦系中的滑覆构造;b—游龙地区元古界中的滑覆构造

Fig.14 The gliding nappe structure in Jiangxi and Zhejiang area

a—The sliding nappe structure of Sinian strata in Shangrao area; b—The sliding nappe structure of Proterozoic strata in Longyou area

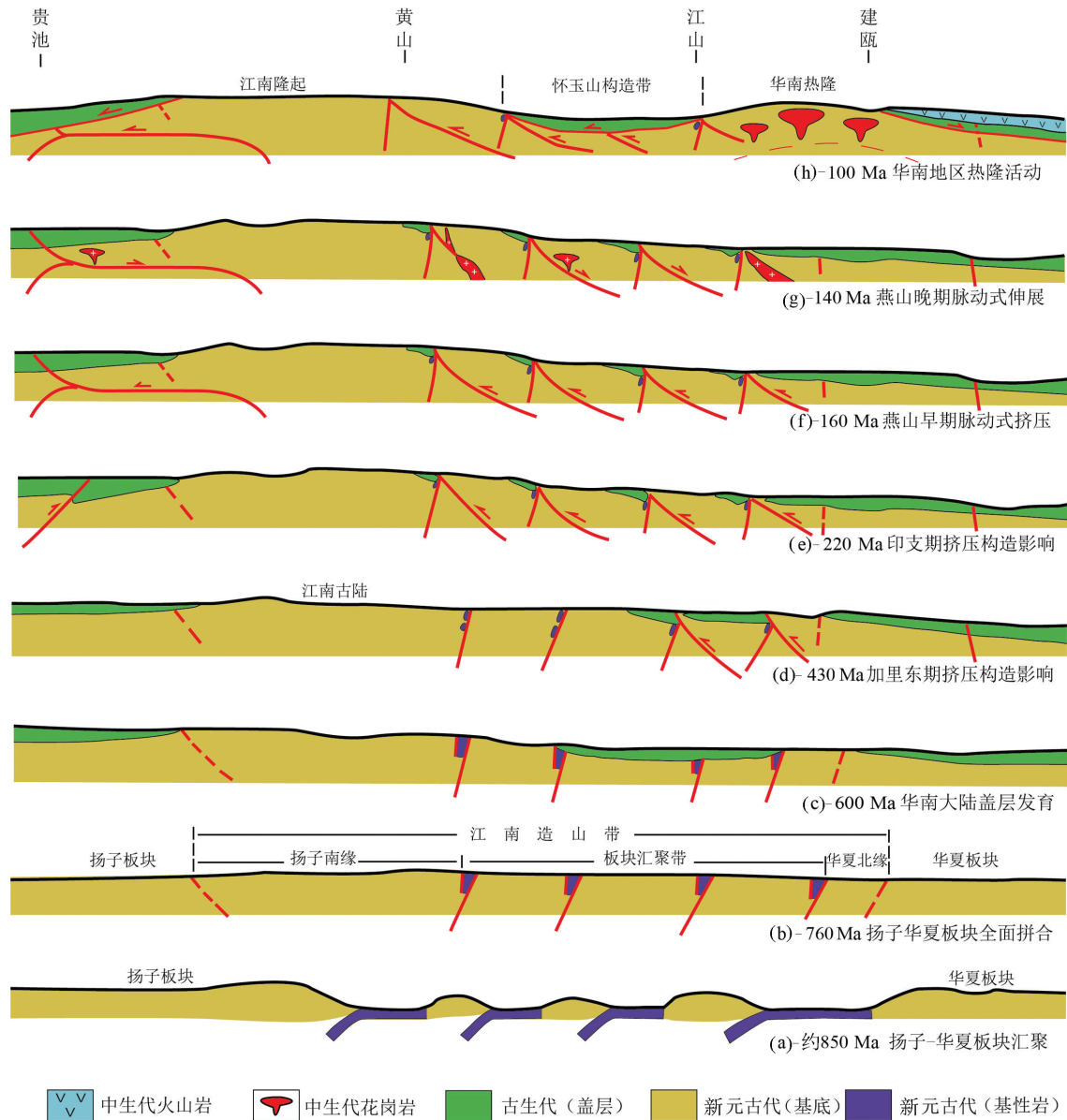


图 15 华南大陆东部构造演化图

Fig.15 The schematic diagram showing the tectonic evolutionary history of the east South China continent

由景德镇—歙县断裂带、江山—绍兴断裂带将其分开;江南断裂带和武夷山—遂昌断裂带分别为江南造山带的北、南边界断裂带。形成于新元古代华夏—扬子板块的“软碰撞”作用。

(2) 扬子板块与华夏板块汇聚带由多条缝合带,多个小板块汇聚而成;汇聚拼合从900 Ma开始,直到760 Ma才最后全面闭合,850~780 Ma为活动高峰期;运动学方式是先斜向俯冲,后右旋走滑;演化规律是由南向北,南早北晚,最晚集中在中部活动;汇聚过程是递变式的汇聚拼合。

(3) 华南大陆东部当今主要构造为一系列北东走向褶皱和与之相伴的一组北东走向的逆冲断层。平面上,北东向褶皱与逆冲断层相伴随;剖面上,倾向南东的逆冲断层占主导地位,褶皱轴面倾向北西和倾向南东的均有发育,并在靠近逆冲断层处变形更为强烈。

(4) 反射地震剖面揭示出大量地壳范围内的逆冲推覆构造,多呈叠瓦状组合,由南向北逆冲,可下切到中—下地壳;地表多处可见新元古界由南向北逆冲在古生界,甚至侏罗系砂砾岩、白垩系砂砾岩

和火山岩之上,并切割燕山期花岗岩。

(5)华南大陆区域性伸展构造广泛发育,震旦系等地层之内的滑覆构造尤为典型,研究区多是上盘向北滑动;同时具有大规模燕山晚期岩浆活动、火山活动,以及与其有关的大规模的热液成矿;以闽西北为中心的“华南热隆”构造形成,基底与盖层的界面成为主要拆离滑脱面。

(6)华南大陆新元古代以来的构造演化十分复杂,850 Ma以来扬子—华夏板块递进式汇聚,760 Ma全面拼合,江南造山带形成;600 Ma华南大陆盖层发育,保留江南古陆;430 Ma钦杭构造带受武夷—云开陆内造山影响;220 Ma钦杭构造带受秦岭—大别造山带影响;160 Ma华南逆冲推覆构造产生;140 Ma大规模区域性伸展,发生构造—岩浆—成矿作用;100 Ma持续伸展,江南持续隆升,华南强烈热隆。

References

- Charvet J, Shu L S, Shi Y S, Guo L Z, Faure M. 1996. The building of south China: collision of Yangzi and Cathaysia blocks, problems and tentative answers[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 13(3/5): 223–235.
- Cheng Guanghua, Wang Yinggeng. 2000. The structural framework of the eastern section of Jiangnan orogen[J]. *Anhui Geology*, 1–8 (in Chinese with English abstract).
- Deng Guohui, Liu Chungen, Feng Ye. 2005. Tectonic Features and Evolution of the Proterozoic Orogenic Belt between Northeastern Jiangxi and Southern Anhui[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 26(1):9–16 (in Chinese with English abstract).
- Gao J, Klemd R, Long L L, Xiong X M, Qian Q. 2008. Adakitic signature formed by fractional crystallization: An interpretation for the Neo-Proterozoic meta-plagiogranites of the NE Jiangxi ophiolitic mélange belt, South China[J]. *Bulletin of Mineralogy Petrology and Geochemistry*, 110(s1): 277–293.
- Gao Linzhi, Liu Yanxue, Ding Xiaozhong, Zhang Chuanheng, Wang Ziqiang, Chen Jun, Liu Yaorong. 2012. SHRIMP dating of Cangshuipu in the middle part of the Jiangnan Orogen and its implication for tectonic evolutions[J]. *Geology in China*, 12–20 (in Chinese with English abstract).
- Greentree M R, Li Z X, Li X H, Wu H C. 2006. Late Mesoproterozoic to earliest Neoproterozoic basin record of the Sibao orogenesis in western South China and relationship to the assembly of Rodinia[J]. *Precambrian Research*, 151(1/2): 79–100.
- Guo Lingzhi, Shi Yangshen, Ma Ruishi, Ye Shangfu, Lu Huaifu. 1984. Tectonotatigraphic terranes of southeast China[J]. *Journal of Nanjing University (Natural Science)*, 20(4):130–137 (in Chinese with English abstract).
- Haynes S J. 1990. Structural Reconnaissance of the Jiangnan Geanticline: A Suspect Terrane of Compressional Tectonic Character[M].
- Hsü K J, Li J L, Chen H H, Wang Q C, Sun S, Sengor A M C. 1990. Tectonics of South China: Key to understanding West Pacific geology[J]. *Tectonophysics*, 183(1): 9–39.
- Hsü K J, Sun S, Li J L, Chen H H, Pen H P, Sengor A M C. 1988. Mesozoic overthrust tectonics in south China[J]. *Geology*, 16(5): 418–421.
- Li Jianghai, Mu Jian. 1999. Tectonic constraints from Chinese Cratonic Blocks for the reconstruction of Rodinia[J]. *Chinese Journal of Geology*, 259–272 (in Chinese with English abstract).
- Li L M, Lin S F, Xing G F, Davis D W, Jiang Y, Davis W, Zhang Y J. 2016. Ca. 830 Ma back-arc type volcanic rocks in the eastern part of the Jiangnan orogen: Implications for the Neoproterozoic tectonic evolution of South China Block[J]. *Precambrian Research*, 275: 209–224.
- Li W X, Li X H, Li Z X. 2008. Middle Neoproterozoic syn-rifting volcanic rocks in Guangfeng, South China: Petrogenesis and tectonic significance[J]. *Geological Magazine*, 145(4): 475–489.
- Li X H, Li W X, Li Z X, Lo C H, Wang J, Ye M F, Yang Y H. 2009. Amalgamation between the Yangtze and Cathaysia Blocks in South China: Constraints from SHRIMP U–Pb zircon ages, geochemistry and Nd–Hf isotopes of the Shuangxiwu volcanic rocks[J]. *Precambrian Research*, 174(1): 117–128.
- Li X H, Li Z X, Ge W C, Zhou H W, Li W X, Liu Y, Wingate M T D. 2003. Neoproterozoic granitoids in South China: crustal melting above a mantle plume at ca. 825 Ma? [J]. *Precambrian Research*, 122(1/4): 45–83.
- Li X H, Zhao J X, McCulloch M T, Zhou G Q, Xing F M. 1998. Geochemical and Sm–Nd isotopic study of Neoproterozoic ophiolites from southeastern China: Petrogenesis and tectonic implications[J]. *Precambrian Research*, 81(1/2): 129–144.
- Li Xianhua, Li Wuxian, He Bing. 2012. Building of the South China Block and its relevance to assembly and breakup of Rodinia supercontinent: observations, interpretations and tests[J]. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 31(6):543–559 (in Chinese with English abstract).
- Li Xianhua, Wang Yixian, Zhao Zhenhua, Chen Duofu. 1998. SHRIMP U–Pb Zircon Geochronology for amphibolite from the Precambrian basement in SW Zhejiang and NW Fujian Province[J]. *Geochimica*, 27(4):327–334 (in Chinese with English abstract).
- Li Xianhua. 2000. Geochemical characteristics and tectonic significance of siliceous rocks in the ophiolite mélange belt of Northeast Jiangxi[J]. *Science in China (Series D)*, 30(3):284–290 (in Chinese with English abstract).
- Li Yuan, Xie Hangqiang, Song Zhirui. 2017. SHRIMP U–Pb Zircon Ages of the Northeastern Jiangxi Ophiolites and the Zhangcun

- Group and a Discussion on the Tectonic Evolution of the Jiangnan Orogen[J]. *Geological Review*, 63(4):854–868 (in Chinese with English abstract).
- Li Z X, Li X H, Kinny P D, Wang J, Zhang S, Zhou H. 2003. Geochronology of Neoproterozoic syn– rift magmatism in the Yangtze Craton, South China and correlations with other continents: evidence for a mantle superplume that broke up Rodinia[J]. *Precambrian Research*, 122(1/4): 85–109.
- Li Z X, Li X H, Wartho J A, Clark C, Li W X, Zhang C L, Bao C. 2010. Magmatic and metamorphic events during the Early Paleozoic Wuyi–Yunkai orogeny, southeastern South China: New age constraints and Pressure– temperature conditions[J]. *GSA Bull.*, 122: 772–793.
- Li Z X, Li X H, Zhou H W, Kinny P D. 2002. Grenvillian continental collision in south China: New SHRIMP U–Pb zircon results and implications for the configuration of Rodinia[J]. *Geology*, 30(2): 163–166.
- Lin W, Faure M, Monié P, SchäRer Urs, Zhang L S, Sun Y. 2000. Tectonics of SE China: New insights from the Lushan massif (Jiangxi Province)[J]. *Tectonics*, 19(5): 852–871.
- Mao Jinwen, Chen Maohong, Yuan Shunda, Guo Chunli. 2011. Geological Characteristics of the Qinhang (or Shihang) Metallogenic Belt in South China and Spatial– Temporal Distribution Regularity of Mineral Deposits[J]. *Acta Geologica Sinica*, 85(5):636–658 (in Chinese with English abstract).
- Shu Liangshu, Lu Huafu, Jia Dong, Charvet Jacques, Faure Michel. 1999. Study of the $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ isotopic age for the early Paleozoic tectonothermal event in the Wuyishan region, South China[J]. *Journal of Nanjing University (Natural Science)*, 35(5):668–674 (in Chinese with English abstract).
- Shu Liangshu, Shi Yangshen, Guo Lingzhi. 1995. Plate– body Tectonics and Collision Orogeny in the Middle of Jiangnan Orogen[M]. Nanjing: Nanjing University Press (in Chinese with English abstract).
- Shu Liangshu, Xiang Lei, Yao Jinlong. 2012. An analysis of principal features of tectonic evolution in South China Block[C]// Symposium on Tectonic Geology and Geodynamics (in Chinese).
- Wan Y S, Liu D Y, Xu M H, Zhuang J M, Song B, Shi Y R, Du L L. 2007. SHRIMP U–Pb zircon geochronology and geochemistry of metavolcanic and metasedimentary rocks in Northwestern Fujian, Cathaysia block, China: Tectonic implications and the need to redefine lithostratigraphic units[J]. *Gondwana Research*, 12: 166–183.
- Wang Chunzhi, Xing Guangfu, Yu Minggang, Huang Zhizhong, Hong Wentao, Zhao Xilin, Zhou Xiaohua, Duan Zheng, Jü Dongmei. 2015. Timing and tectonic of the ophiolite in northeast Jiangxi: Constrains from zircon U–Pb age, Hf isotope and geochemistry of the Zhangshudun gabbro[J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 34(3):309–321 (in Chinese with English abstract).
- Wang X L, Zhao G C, Zhou J C, Liu Y S, Hu J. 2008. Geochronology and Hf isotopes of zircon from volcanic rocks of the Shuangqiaoshan Group, South China: Implications for the Neoproterozoic tectonic evolution of the eastern Jiangnan orogen[J]. *Gondwana Research*, 14(3): 355–367.
- Wang X L, Zhou J C, Griffin W L, Wang R C, Qiu J S, O’Reilly S Y, Xu X S, Liu X M, Zhang G L. 2007. Detrital zircon geochronology of Precambrian basement sequences in the Jiangnan orogen: Dating the assembly of the Yangtze and Cathaysia Blocks[J]. *Precambrian Research*, 159(1): 117–131.
- Wang Xiaolei, Zhou Jincheng, Chen Xin, Zhang Fengfeng, Sun Ziming. 2017. Formation and evolution of the Jiangnan orogen[J]. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 36(5):714–735 (in Chinese with English abstract).
- Wang Ziqiang, Gao Linzhi, Ding Xiaozhong, Huang Zhizhong. 2012. Tectonic environment of the, metamorphosed basement in the Jiangnan orogen and its evolutional features[J]. *Geological Review*, 58(3):401–413 (in Chinese with English abstract).
- Xin Y J, Li J H, Dong S W, Zhang Y Q, Wang W B, Sun H S. 2017. Neoproterozoic post– collisional extension of the central Jiangnan Orogen: Geochemical, geochronological, and Lu– Hf isotopic constraints from the ca. 820– 800 Ma magmatic rocks[J]. *Precambrian Research*, 294: 91–110.
- Xing Fengming, Xu Xiang. 1992. Sm–Nd isotopic age of proterozoic ophiolites in northeastern Jiangxi and its geological significance[J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 11(2):120–124 (in Chinese with English abstract).
- Xu Bei. 1990. The Late proterozoic trech– basin– arc system in northeastern Jiangxi– southern Anhui Provinces[J]. *Acta Geologica Sinica*, 64(1):33–42 (in Chinese with English abstract).
- Xu Xianbing, Tang Shuai, Li Yuan, Zhang Zejun. 2015. Characteristics of Neoproterozoic– early Mesozoic multiphase orogenic activities of eastern Jiangnan Orogen[J]. *Geology in China*, 42(1):33–50 (in Chinese with English abstract).
- Xue Huaiming, Ma Fang, Song Yongqin, Xie Yaping. 2010. Geochronology and geochemistry of the Neoproterozoic granitoid association from eastern segment of the Jiangnan orogen. China: Constraints on the taling and process of amalgamation between the Yangtze and Cathaysia blocks[J]. *Acta Prtologica Sinica*, 26(11): 3215–3244 (in Chinese with English abstract).
- Yang Minggui, Huang Shuibao, Lou Fasheng, Tang Weixin, Mao Subin. 2009. Lithospheric structure and large– scale metallogenic process in Southeast China continental area[J]. *Geology in China*, 36(3):528–543 (in Chinese with English abstract).
- Ye M F, Li X H, Li W X, Liu Y, Li Z X. 2007. SHRIMP zircon U–Pb geochronological and whole– rock geochemical evidence for an early Neoproterozoic Sibaoan magmatic arc along the southeastern margin of the Yangtze Block[J]. *Gondwana Research*, 12(1/2): 144–156.

- Yin C Q, Lin S, Davis D W, Xing G F, Davis W J, Cheng G H, Xiao W J, Li L M. 2013. Tectonic evolution of the southeastern margin of the Yangtze Block: Constraints from SHRIMP U-Pb and LA-ICP-MS Hf isotopic studies of zircon from the eastern Jiangnan Orogenic Belt and implications for the tectonic interpretation of South China[J]. *Precambrian Research*, 236(5): 145-156.
- Zhang C L, Santosh M, Zou H B, Li H K, Huang W C. 2013. The Fuchuan ophiolite in Jiangnan Orogen: Geochemistry, zircon U-Pb geochronology, Hf isotope and implications for the Neoproterozoic assembly of South China[J]. *Lithos*, 179(10): 263-274.
- Zhang C L, Zou H B, Zhu Q B, Chen X Y. 2015. Late Mesoproterozoic to early Neoproterozoic ridge subduction along southern margin of the Jiangnan Orogen: New evidence from the Northeastern Jiangxi Ophiolite (NJO), South China[J]. *Precambrian Research*, 268: 1-15.
- Zhang Guowei, Guo Anlin, Wang Yuejun, Li Sanzhong, Dong Yunpeng, Liu Shaofeng, He Dengfa, Cheng Shunyou, Lu Rukui, Yao Anping. 2013. Structure and problems of south China continent[J]. *Scientia Sinica Terrae*, 1553-1582 (in Chinese with English abstract).
- Zhao Jianxin, Li Xianhua, M T McCulloch, Zhou Guoqing, Xing Fengming. 1995. Petrogenesis of ophiolites from south Anhui and northeast Jiangxi, and their tectonic implications: Chemical and Sm-Nd isotopic constraints[J]. *Geochimica*, 24(4):311-326 (in Chinese with English abstract).
- Zhou Jincheng, Wang Xiaolei, Qiu Jiansheng. 2009. Some Neoproterozoic geological events involved in the development of the Jiangnan orogen[J]. *Geological Journal of China Universities*, 15(4):453-459 (in Chinese with English abstract).
- Zhou Xinmin, Wang Dezi. 1988. The peraluminous granodiorites with low initial $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ratio and their genesis in southern Anhui province, eastern China[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 51(3):2141-2145 (in Chinese with English abstract).
- Zhou Xinmin, Yang Jiedong. 1989. Sm-Nd isochron age and its geological significance of ophiolite suite in fuchuan, Shexian Anhui province[J]. *Chinese Science Bulletin*, 16:1243-1245 (in Chinese with English abstract).
- 程光华, 汪应庚. 2000. 江南东段构造格架[J]. *安徽地质*, 10(1): 1-8.
- 邓国辉, 刘春根, 冯晔. 2005. 赣东北—皖南元古代造山带构造格架及演化[J]. *地球学报*, 26(1): 9-16.
- 高林志, 刘燕学, 丁孝忠, 张传恒, 王自强, 陈俊, 刘耀荣. 2012. 江南古陆中段沧水铺群锆石 U-Pb 年龄和构造演化意义[J]. *中国地质*, 39(1): 12-20.
- 郭令智, 央申, 马瑞士, 叶尚夫, 卢夏华. 1984. 中国东南部地体构造的研究[J]. *南京大学学报(自然科学)*, 20(4): 130-137.
- 李江海, 穆剑. 1999. 我国境内格林威尔期造山带的存在及其对中元古代末期超大陆再造的制约[J]. *地质科学*, 34(3): 259-272.
- 李献华, 李武显, 何斌. 2012. 华南陆块的形成与 Rodinia 超大陆聚合—裂解——观察、解释与检验[J]. *矿物岩石地球化学通报*, 31(6): 543-559.
- 李献华, 王一先, 赵振华, 陈多福, 张宏. 1998. 闽浙古元古代斜长角闪岩的离子探针锆石 U-Pb 年代学[J]. *地球化学*, 27(4): 327-334.
- 李献华. 2000. 赣东北蛇绿混杂岩带中硅质岩的地球化学特征及构造意义[J]. *中国科学:地球科学*, 30(3): 284.
- 李源, 颜颜强, 宋志瑞. 2017. 赣东北蛇绿岩和张村岩群的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄及对江南造山带构造演化的讨论[J]. *地质论评*, 63(4): 854-868.
- 毛景文, 陈懋弘, 袁顺达, 郭春丽. 2011. 华南地区钦杭成矿带地质特征和矿床时空分布规律[J]. *地质学报*, 85(5): 636-658.
- 舒良树, 卢华复, 贾东, 夏菲, 福赫. 1999. 华南武夷山早古生代构造事件的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 同位素年龄研究[J]. *南京大学学报(自然科学版)*, 35(6): 668-674.
- 舒良树, 向磊, 姚金龙. 2012. 华南构造演化基本特征分析[C]//构造地质与地球动力学学术研讨会.
- 舒良树, 施央申, 郭令智. 1995. 江南中段板块—地体构造与碰撞造山运动[M]. 南京: 南京大学出版社.
- 王存智, 邢光福, 余明刚, 黄志忠, 洪文涛, 赵希林, 周效华, 段政, 鞠冬梅. 2015. 赣东北蛇绿岩形成时代及构造环境——樟树墩辉长岩锆石 U-Pb 年龄、Hf 同位素和地球化学约束[J]. *岩石矿物学杂志*, 34(3): 309-321.
- 王孝磊, 周金城, 陈昕, 张凤凤, 孙梓铭. 2017. 江南造山带的形成与演化[J]. *矿物岩石地球化学通报*, 36(5): 1007-2802.
- 王自强, 高林志, 丁孝忠, 黄志忠. 2012. “江南造山带”变质基底形成的构造环境及演化特征[J]. *地质论评*, 58(3): 401-413.
- 邢凤鸣, 徐祥, 陈江峰, 周泰禧. 1992. 赣东北元古代蛇绿岩 Sm-Nd 同位素年龄及地质意义[J]. *岩石矿物学杂志*, 11(2): 120-124.
- 徐备. 1990. 论赣东北—皖南晚元古代沟弧盆体系[J]. *地质学报*, 64(1): 33-42.
- 徐先兵, 汤师, 李源, 章泽军. 2015. 江南造山带东段新元古代至早中生代多期造山作用特征[J]. *中国地质*, 42(1): 33-50.
- 薛怀民, 马芳, 宋永勤, 谢亚平. 2010. 江南造山带东段新元古代花岗岩组合的年代学和地球化学: 对扬子与华夏地块拼合时间与过程的约束[J]. *岩石学报*, 26(11): 3215-3244.
- 杨明桂, 黄水保, 楼法生, 唐维新, 毛索斌. 2009. 中国东南陆区岩石圈结构与大规模成矿作用[J]. *中国地质*, 36(3): 528-543.
- 张国伟, 郭安林, 王岳军, 李三忠, 董云鹏, 刘少峰, 何登发, 程顺有, 鲁如魁, 姚安平. 2013. 中国华南大陆构造与问题[J]. *中国科学:地球科学*, 43(10): 1553-1582.
- 赵建新, 李献华, M T McCulloch, 周国庆, 邢凤鸣. 1995. 皖南和赣东北蛇绿岩成因及其构造意义: 元素和 Sm-Nd 同位素制约[J]. *地球化学*, 24(4): 311-326.
- 周金城, 王孝磊, 邱检生. 2009. 江南造山带形成过程中若干新元古代地质事件[J]. *高校地质学报*, 15(4): 453-459.
- 周新民, 王德滋. 1988. 皖南低 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 初始比的过铝花岗岩闪长岩及其成因[J]. *岩石学报*, 51(3): 2141-2145.
- 周新民, 邹海波, 杨杰东, 王银喜. 1989. 安徽歙县伏川蛇绿岩套的 Sm-Nd 等时线年龄及其地质意义[J]. *科学通报*, 16: 1243-1245.

附中文参考文献

- 程光华, 汪应庚. 2000. 江南东段构造格架[J]. *安徽地质*, 10(1): 1-8.
- 邓国辉, 刘春根, 冯晔. 2005. 赣东北—皖南元古代造山带构造格架及演化[J]. *地球学报*, 26(1): 9-16.
- 高林志, 刘燕学, 丁孝忠, 张传恒, 王自强, 陈俊, 刘耀荣. 2012. 江南古陆中段沧水铺群锆石 U-Pb 年龄和构造演化意义[J]. *中国地质*, 39(1): 12-20.
- 郭令智, 央申, 马瑞士, 叶尚夫, 卢夏华. 1984. 中国东南部地体构造的研究[J]. *南京大学学报(自然科学)*, 20(4): 130-137.
- 李江海, 穆剑. 1999. 我国境内格林威尔期造山带的存在及其对中元古代末期超大陆再造的制约[J]. *地质科学*, 34(3): 259-272.
- 李献华, 李武显, 何斌. 2012. 华南陆块的形成与 Rodinia 超大陆聚