

doi: 10.13745/j.esf.2016.04.012

皖浙赣相邻区晚中生代多期构造变形特征及其动力学背景

江来利¹, 胡召齐¹, 朱强¹, 黄德志², 王德恩³

1. 安徽省地质调查院, 安徽 合肥 230001

2. 中南大学 地球科学与信息物理学院, 湖南 长沙 410083

3. 安徽省地质矿产勘查局 332 地质队, 安徽 黄山 245000

JIANG Laili¹, HU Zhaoqi¹, ZHU Qiang¹, HUANG Dezhi², WANG De'en³

1. Geological Survey of Anhui Province, Hefei 230001, China

2. School of Geosciences and Info-Physics, Central South University, Changsha 410083, China

3. No. 332 Geological Team, Bureau of Geology and Mineral Exploration of Anhui Province, Huangshan 245000, China

JIANG Laili, HU Zhaoqi, ZHU qiang, et al. Late Mesozoic multi-stage structural deformations feature in the adjacent region among Anhui, Zhejiang, and Jiangxi Provinces. *Earth Science Frontiers*, 2016, 23(4): 137-147

Abstract: Five periods of structural deformations in the Late Mesozoic era have been identified by systematic field investigation and structural analyses. The first one is the NEE trending thrust structure, which took place from the end of the Middle Jurassic to the beginning of the Early Cretaceous, approximately 160 – 150 Ma. The second one is characterized by the high-angle normal fault and the NNE trending left-laterastrike-slipfault which formed at the beginning of the Early Cretaceous, approximately 150 – 135 Ma. The third one is the NEE trending left-lateral strike-slip faults, which formed at the late Early Cretaceous, approximately 125 – 120 Ma. The forth one is the NE-NEE trending right-lateral strike-slip faults formed at the end of the Early Cretaceous, approximately 100 Ma. The last main structural deformation is the top to the NWW thrust with an NNE striking, which formed at the early Late Cretaceous after 75 Ma. The multi-stage deformations are associated with the latest collision of the North China and the South China plate, and with the different directional subduction of the Pacific plate towards the Euro-Asian plate at different stages, and even with the eastward remote extrusion effect of the collision between Indian plate and Euro-Asian plate.

Key words: adjacent region of Anhui, Zhejiang and Jiangxi Provinces; multi-stage structural deformation; Late Mesozoic; subduction of the Pacific plate

摘 要:通过详细系统的野外地质调查和构造解析,文中在皖浙赣相邻区识别出晚中生代的五期构造变形。第一期为中侏罗世末到早白垩世初的北东东向逆冲-推覆构造,形成时间大约为 160~150 Ma;第二期为早白垩世初的高角度正断层和北东东向左行平移断层,形成于 150~135 Ma;第三期为早白垩世晚期的北北东向左行平移断层,形成于 125~120 Ma;第四期为北东—北东东向右行平移断层,形成于早白垩世末期的 100 Ma 左右;最后一期为形成于晚白垩世早期(约 75 Ma)的北北东向逆冲断层构造。区内晚中生代的多期构造变形与华南和华北板块的最后阶段的碰撞,晚中生代以来太平洋板块在不同阶段向欧亚大陆不同方向的俯冲,甚至与印度板块向北碰撞产生的向东远程挤压效应等诸多作用有关。

关键词:皖浙赣相邻区;多期构造变形;晚中生代;太平洋板块俯冲作用

中图分类号:P542 **文献标志码:**A **文章编号:**1005-2321(2016)04-0137-11

收稿日期:2015-09-06;修回日期:2015-11-05

基金项目:安徽省公益性地质工作项目(2012-G-38);安徽省国土资源科技项目(2015-K-5)

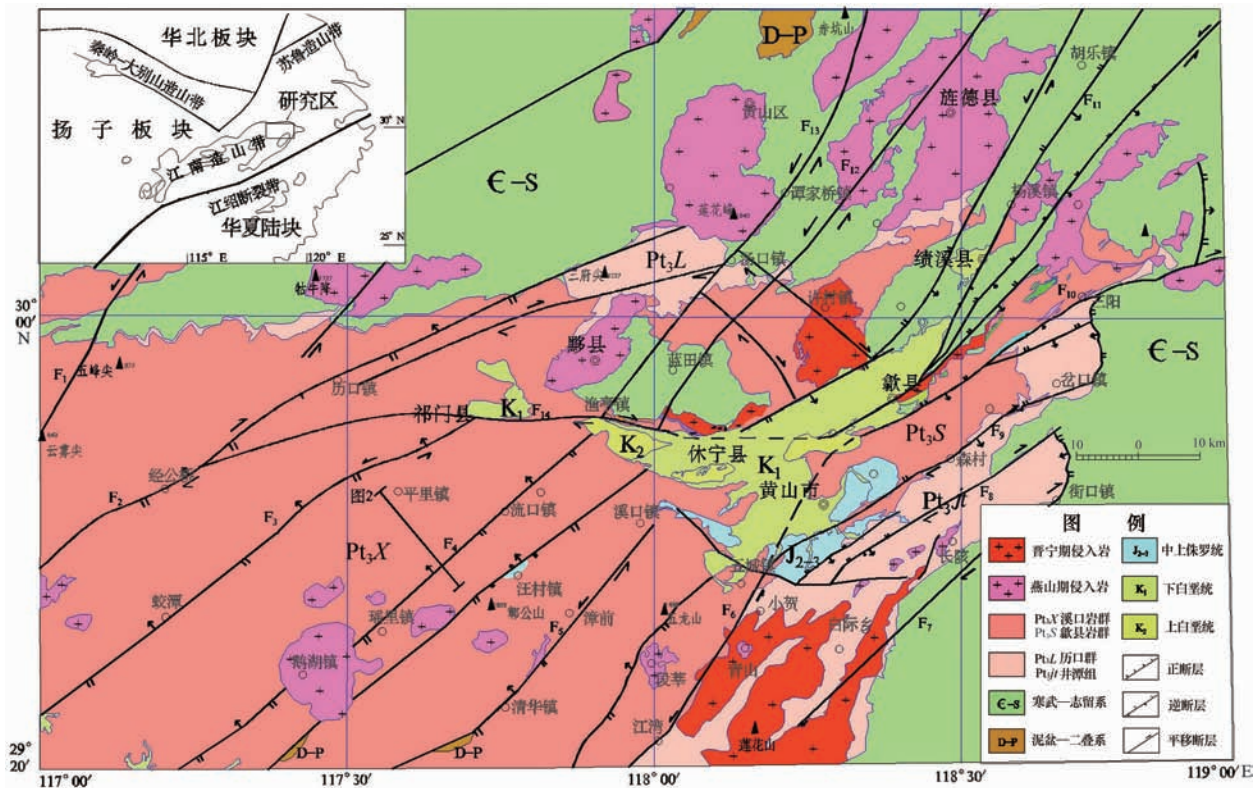
作者简介:江来利(1957—),男,博士,教授级高级工程师,主要从事造山带地质和构造地质研究。E-mail:jiangllb@163.com

0 引言

皖浙赣地区处于江南造山带东段,位于扬子陆块东南缘,南以江绍断裂带与华夏地块相邻(图 1),其经过元古宙从被动大陆边缘到活动大陆边缘的转化,最终在 830 Ma 左右与华夏地块拼接在一起^[1-3],为新元古代江南造山带的重要组成部分。在新元古代晚期,刚拼合后的江南造山带因 Rodinia 超大陆的裂解转变为伸展环境,成为华南南华纪裂谷盆地的一部分^[1-4],到早古生代逐渐成为扬子板块被动大陆边缘的一部分,连续沉积了一套海相的碳酸盐-碎屑岩建造。华南强烈的加里东运动虽然没有在本区产出明显的岩浆活动,但使前南华纪基底及早古生代地层产生褶皱变形,如区内皖南-浙西早一中石炭世地层直接覆盖在新元古代浅变质岩系之上^[5-6]。中生代以来,由于受到华北板块和华南板块印支期碰撞作用以及太平洋板块向欧亚板块俯冲作用的影响,区内经过多阶段的构造演化,逆冲推覆作用和平

移断层运动都很强烈,它们叠加和改造了早期构造形迹,铸就了现今的构造格局。

前人对皖浙赣相邻区的地质研究主要集中在“江南古陆”的岩石组成、浅变质岩的形成时代、地球化学特征及形成构造背景和构造演化上,“江南古陆”被认为是扬子板块东南缘的中-新元古代造山带——江南造山带^[1,7-15]。此外,区域找矿工作也大大推动了燕山期岩浆作用的研究,在燕山期岩浆岩的岩石地球化学、同位素年代学及形成的大地构造背景等方面均取得了一系列成果和认识^[16-19]。关于区内中生代地质,前人主要以中生代盆地的沉积学调查为主^[20-21],认为多层次滑脱-逆冲推覆构造是与江南造山带隆起有关的板内中生代造山产物^[22-23]。但对最后形成研究区区域构造格架和控制中生代岩浆和成矿作用的中生代构造变形缺少深入研究,从而导致人们对区内作用强烈的中生代构造变形特征不清楚,影响到区内构造-岩浆-成矿相互关系的深入认识,进而延缓了区内地质找矿工作的进程。



F₁—葛公镇断裂;F₂—经公桥断裂;F₃—蛟潭—祁门断裂;F₄—瑶里断裂;F₅—漳前断裂;F₆—江湾—五城断裂;F₇—白际—街口断裂;F₈—岭南—小川断裂;F₉—森村—武阳断裂;F₁₀—歙县—三阳断裂;F₁₁—宁国—绩溪断裂;F₁₂—旌德断裂;F₁₃—汤口断裂;F₁₄—祁门—潜口断裂。

图 1 皖浙赣相邻区地质构造简图

Fig. 1 The simplified geological map of the study area

本文以皖浙赣相邻区中生代构造变形为研究对象, 通过野外系统的构造变形分析和断层擦痕运动学研究, 确定了中生代以来的主要构造变形特征, 划分出区内主要构造期次以及各期构造的古构造应力场特征, 并探讨了中生代构造变形的动力学背景。

1 区域地质背景

皖浙赣相邻区新元古代浅变质基底岩系广泛出露, 可分为青白口和南华两个构造层。青白口构造层由形成于岛弧或弧后盆地环境的新元古代浅变质火山-沉积岩, 和形成于弧后小洋盆环境的蛇绿混杂岩及形成于同碰撞环境的 S 型花岗闪长岩组成。该构造层以伏川蛇绿混杂岩带为界, 东区的歙县岩群, 是一套浅变质细碧-角斑岩建造(西村岩组 Pt_3x) 和强烈韧性剪切的浅变质富火山物质的碎屑岩(昌前岩组 Pt_3ch), 西区的溪口岩群, 是一套浅变质碎屑岩组合。南华构造层由安徽的昱岭关群及浙江的河上镇群(南侧)和历口群 Pt_3l (北侧)的火山-沉积岩及同期的石耳山、灵山和莲花山岩体等具有 A 型花岗岩特征钾长花岗斑岩组成, 该构造层形成于江南造山带东段形成不久的伸展过程中^[4]。

研究区南北两侧均有南华纪一早志留世盖层分布。北侧南华系休宁组(Z_1x)以角度不整合在新元古代变质碎屑岩以及许村、休宁等晋宁期花岗闪长岩体之上, 南(东)侧角度不整合在新元古代变质火山-碎屑岩及晋宁期歙县花岗闪长岩体之上(图 1), 其上缺失晚志留世一早石炭世海相沉积。晚古生代地层分别覆盖在震旦一寒武纪褶皱岩层和前震旦纪浅变质岩系之上。区内仅有石炭纪一早三叠世地层零星露头, 直接不整合在新元古代浅变质系之上。

侵入岩主要有新元古代休宁、歙县、许村等花岗闪长岩体和灵山、莲花山、石耳山花岗(斑)岩体, 燕山期鹅湖、旌德、太平等花岗闪长岩体和黄山、伏岭、大历山等花岗(斑)岩体及数十个小岩株。

研究区浅变质基底的最早变形形成于晋宁期江南造山带弧后盆地关闭过程中, 在由南向北挤压过程中, 形成向北逆冲的韧性剪切带和向北倒转的紧密-同斜-宽缓褶皱。以祁门-歙县断裂带为界, 北部为成层有序的弱变形地层, 构造主要为向北倒转的紧密-开阔褶皱; 南部地层以歙县岩群(Pt_3S)和溪口岩群(Pt_3X)为代表, 以强烈剪切和紧密同斜褶皱为主, 形成近东西-北东东向韧性剪切的千枚理

和轴面劈理。江湾-五城断裂带以东的白际岭构造带为强烈剪切的总体无序、局部有序地层, 早期韧性剪切形成的千枚理呈北东向, 受中生代逆冲推覆构造的叠加改造成北东东向。区内南华系一下志留统盖层以宽缓褶皱为主。中生代逆冲推覆、滑脱及走滑作用强烈, 早期构造形迹不同程度地受到北北东、北东及北东东向断层的叠加改造, 形成如今复杂的构造格局。

2 构造变形特征

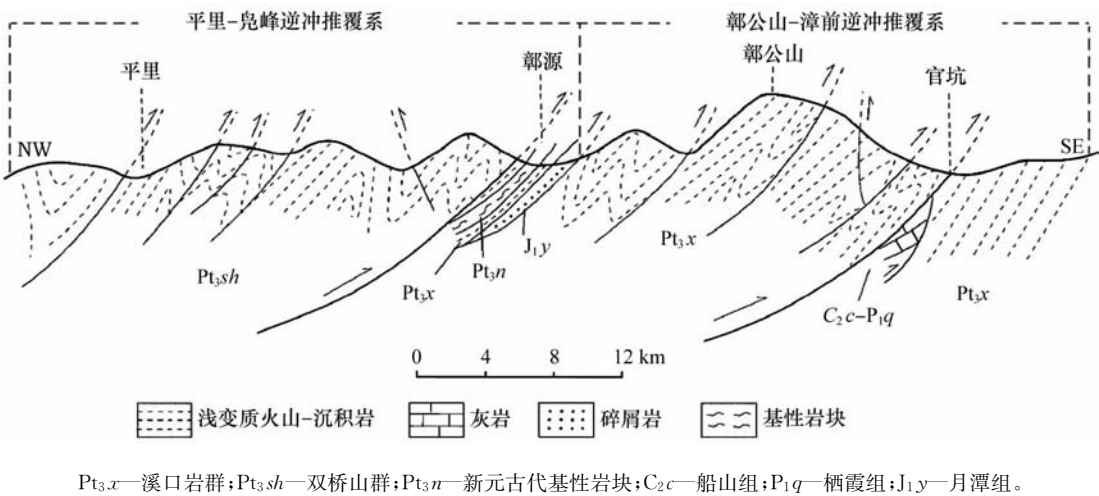
皖浙赣相邻区中生代构造作用强烈, 逆冲推覆、滑脱及走滑构造均很发育, 构造期次多, 构造变形复杂。本次对区内中生代构造变形特征进行了系统的研究, 通过断层面的构造分析确定了各期断层的性质, 通过断层之间的叠加改造关系建立了区域断裂构造序列, 在区内划分出 5 期主要构造变形, 分别为北东东向逆冲推覆、北东及北西西向正向滑动和北东东向左行平移、北北东向左行平移断层、北东东向右行平移断层和北北东向逆冲断层。

2.1 北东东向逆冲推覆构造

研究区中生代逆冲推覆构造发育, 在区域上存在两个北东东向逆冲推覆构造带, 分别为五城-江湾断裂以西的障公山逆冲推覆构造带和五城-江湾断裂以东的白际岭逆冲推覆构造带。

2.1.1 障公山逆冲推覆构造

该逆冲推覆构造带分布在经公桥断裂与五城-江湾断裂之间的皖赣交界的障公山地区。该逆冲推覆构造带由一系列自北西南东的叠瓦状逆冲推覆断层和堆叠岩片组成, 伴随着冲断层的是轴面向北倾斜、向南倒转的紧密-同斜褶皱, 冲断层往往发育在倒转褶皱的翼部, 区域上形成以瑶里-鄣源-江潭为主逆冲-推覆断层的北部平里-鳊峰逆冲-推覆构造系和以清华-五城断裂为主逆冲-推覆断层的南部障公山-漳前逆冲-推覆构造系(图 2)^[24]。卷入逆冲推覆构造的地层有新元古代浅变质碎屑岩、石炭-二叠纪和早中侏罗世地层, 卷入的中侏罗统漳平组地层主要出露在景德镇西南凰岗镇^[25], 在障公山北部卷入的最新地层为下侏罗统月潭组(J_1y)。石炭-二叠系、下侏罗统为原地系统, 新元古代浅变质岩系为经过位移的逆冲推覆体。在瑶里、右龙、汪村等地可见其逆掩于石炭-二叠系及下侏罗统之上(图 3a、b)。祁门汪村南小连口一带前



Pt₃x—溪口岩群;Pt₃sh—双桥山群;Pt₃n—新元古代基性岩块;C₂c—船山组;P₁q—栖霞组;J₁y—月潭组。

图2 障公山地区逆冲推覆构造示意图^[24]

Fig. 2 Sketch map of thrust-nappe structures in Zhanggongshan area^[24]

人矿产普查钻孔中,在新元古代变质岩系之下有早侏罗世含煤碎屑岩分布,指示强烈逆掩构造作用的存在^[26],同时早侏罗世含煤碎屑岩被新元古代地层所逆掩(图 3b),表明断层形成于早侏罗世之后。从景德镇西南凰岗镇出露的中侏罗统漳平组被新元古界板桥组自北西向南东逆掩^[25],指示该逆冲推覆构造形成于中侏罗世之后。

2.1.2 白际岭逆冲推覆构造

该逆冲推覆构造带分布在五城—江湾断裂以东,歙县—三阳断裂以南的休宁—歙县东南部的白际山脉(图 1)。该逆冲推覆构造带走向为北东东向,由一系列由南东东向北西西逆冲的冲断岩片所组成。本逆冲推覆构造以由南东向北西逐渐递进逆冲为特征,变形由南东向北西逐渐增强,表现为东南缘的新元古界井潭组—周家村组变质火山-沉积岩系向北西逆冲在新元古界昌前岩组之上,昌前岩组又进一步向北西逆冲在伏川蛇绿混杂岩及中侏罗统洪琴组之上,一系列由南东向北西逆冲的构造岩片总体构成一个大型逆冲推覆构造带^[26]。

该逆冲推覆构造带中的冲断层以构造劈理化带和千枚岩化带为代表。千枚岩化带和构造劈理化带宽度不等,很多在 500 m 以上,倾向南东,产状平缓,发育“S-C”组构、构造透镜体,指示上覆岩层由南东向北西西的逆冲剪切(图 3c)。在变质砂岩中的冲断层,断层大多由一系列密集透入性的剪切劈理所组成,其上发育擦痕和阶步,其中常发育同构造的石英脉(图 4)。而变质泥岩和粉砂质泥岩(千枚岩)中的冲断层则发育以千枚理为代表的剪切劈

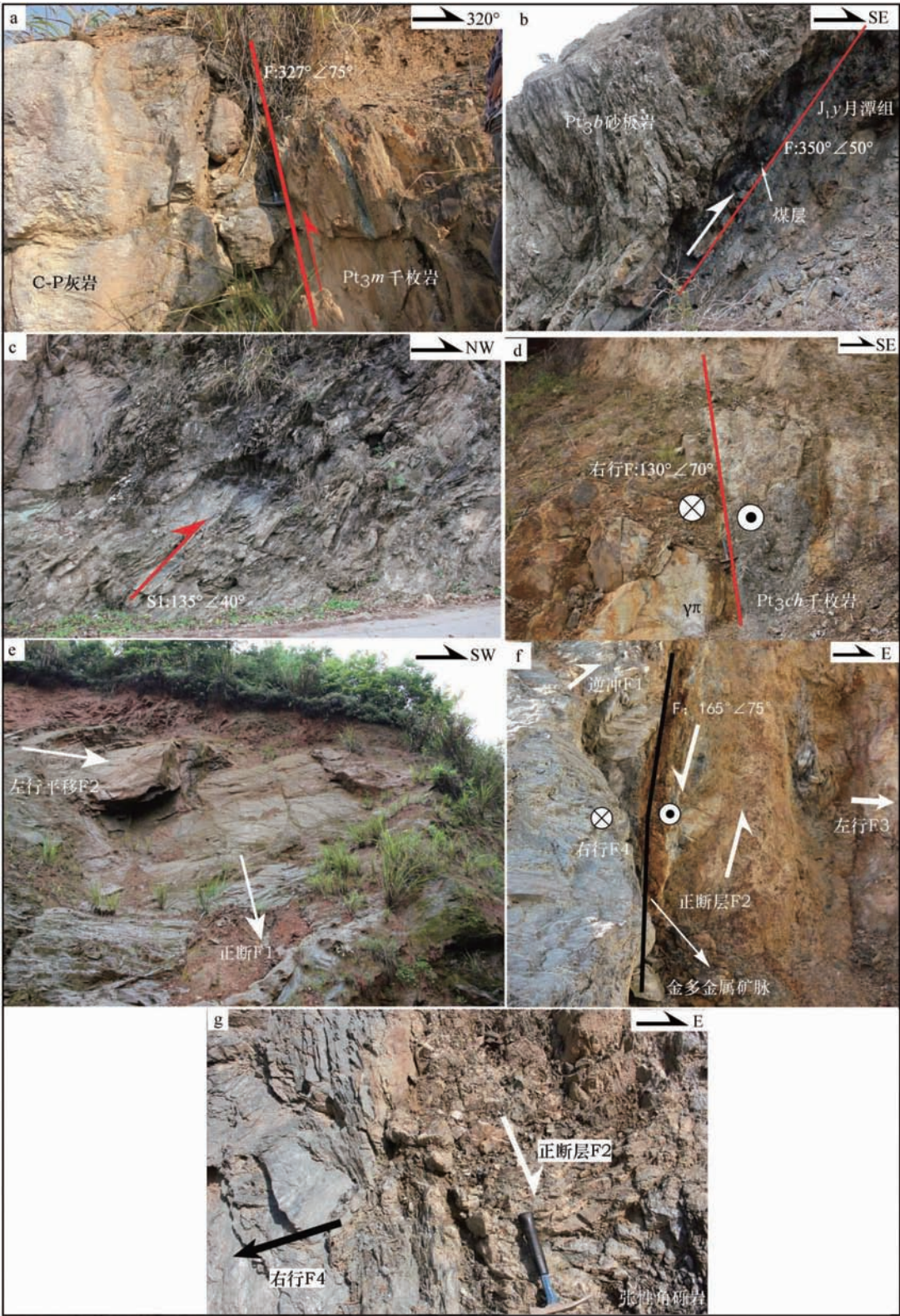
理,劈理面上发育有绢云母、绿泥石等片状矿物显示的矿物生长线理。

歙县—三阳断裂和五城—江湾断裂是该逆冲推覆构造带的前缘断裂。在歙县—三阳断裂以南,新元古代的周家村岩组和昌前岩组向北西作递进式逆冲推覆,最终沿歙县—三阳断裂逆冲到中侏罗统洪琴组红色砂岩之上,并被后期高角度正断层和左行平移断层所叠加改造(图 4)。在歙县汉口—小溪地区,新元古代井潭组、昌前岩组向北西逆冲推覆,最终沿前缘逆冲断层推覆在中侏罗统洪琴组(J₂h)之上,因后期剥蚀形成飞来峰和构造窗(图 5)。在休宁五城以南,新元古界昌前岩组或木坑岩组千枚岩沿五城—江湾断裂向北西西逆冲在中侏罗统洪琴组之上(图 6a)。五城天井山金矿区距前缘断层 200~400 m 的多个钻孔在打穿昌前岩组变质岩后,见到洪琴组紫红色粉砂质泥岩,钻孔距离前缘断层的最大距离达 400 m^①,说明白际岭构造带向北西的逆冲推覆距离较大。

2.2 高角度正断层

区内高角度正断层比较发育,较大的高角度正断层大多叠加在早期逆冲断层之上,并被晚期平移断层改造,主要方向有北西西向和北东—北北东向两组(图 3e)。北西西向正断层主要叠加在祁门—潜口断裂之上,是控制祁门盆地、休宁—屯溪盆地的边界断裂,其中的屯溪盆地可能是在区域北东东向

① 安徽省地质矿产勘查局 332 地质队. 安徽省休宁县天井山金矿深部金矿普查工作总结,2013.



a—婺源清华木坑组千枚岩(Pt_{3m})向南逆冲在石炭—二叠系灰岩之上;b—障公山鹤城板桥组(Pt_{3b})向南东逆冲在月潭组(J_{1y})之上;c—歙县岔口周家村组千枚状砂岩向北西逆冲强变形劈理化带;d—歙县桃溪侵入花岗岩斑岩及接触面晚期右行;e—五城—江湾断裂早期正断和晚期左行平移;f—桃溪北东东向逆冲 F1、正断层 F2、左行 F3、右行 F4 及矿化脉;g—歙县桃溪高角度正断层和晚期右行平移断层。

图 3 逆冲推覆构造和伸展构造野外照片

Fig. 3 Photos of thrust-nappe and extensional structures

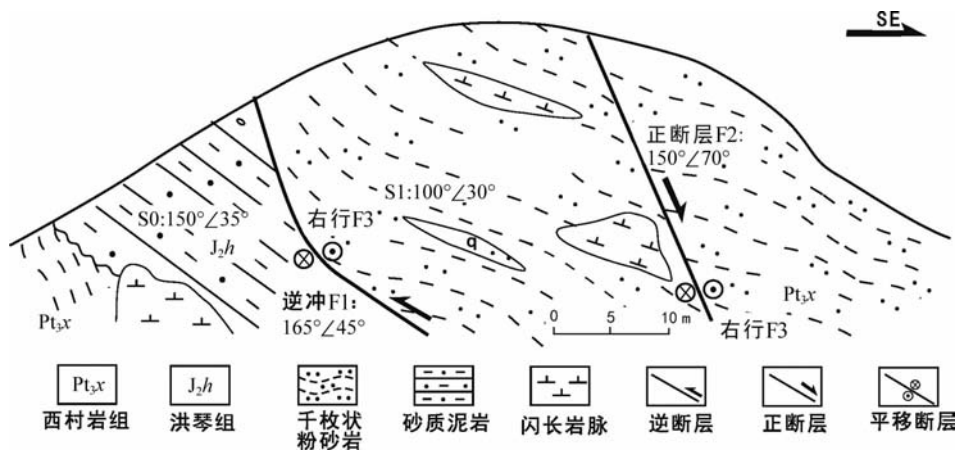
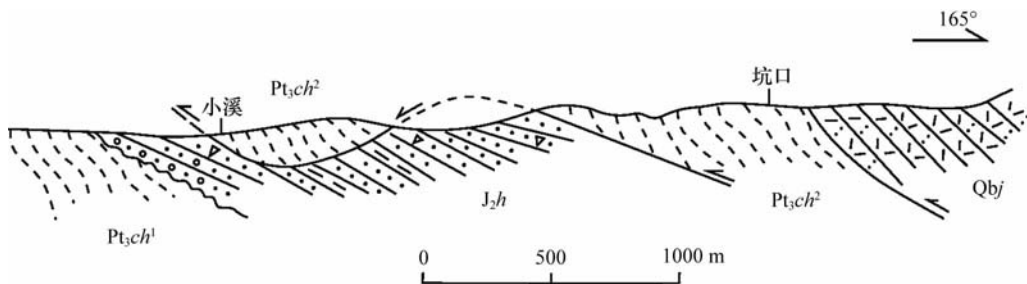


图 4 歙县呈村降多期构造活动剖面图
Fig. 4 Section of multi-stage deformations in Chengcunjiang, Shexian



J₂h—洪琴组岩屑砂岩、砾岩;Qbj—井潭组流纹斑岩;Pt₃ch²—昌前组上段砂质千枚岩;Pt₃ch¹—昌前组下段千枚岩。
图 5 歙县小溪逆冲推覆体^[6]
Fig. 5 Xiaoxi thrust nappe in the southeast of Shexian County^[6]

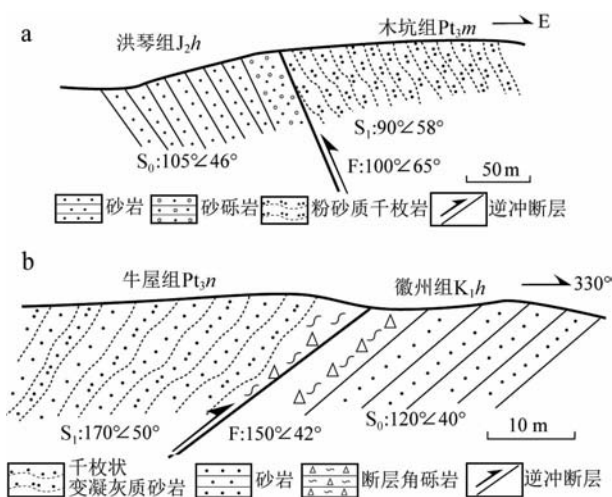


图 6 五城佛岭(a)和绩溪金沙北下巷(b)逆冲推覆构造示意图
Fig. 6 Thrust-nappe structures in Foling, Wucheng(a) and Xiaxiang, north of Jixi(b)

左行平移过程中形成的拉分盆地^[22]。沿宁国—绩溪断裂形成的北北东向高角度正断层是控制绩溪等北东向盆地的盆缘边界断裂,控制着区内早白垩世

盆地的沉积,后期受向北西西的逆冲推覆构造的改造,盆地南缘被新元古代地层逆掩,北缘仍然保留盆缘正断层痕迹^[21]。沿宁国—绩溪断裂的正断层走向变成北北东向,可能是受后期北北东向平移断层左行剪切的结果^[27-28],其形成时的走向应为北东向。在白际岭逆冲推覆构造带,发育一系列叠加在早期逆冲断层之上的北东向高角度正断层。如在歙县呈村降和桃溪等地均可见本期高角度正断层,断层面上发育近倾向擦痕,断层带中发育张性构造角砾岩(图 3g),沿断裂带有早白垩世花岗斑岩脉侵入(图 3d),同时可见早期逆断层和倾竖褶皱(图 3f、图 4)。沿皖浙边界地区,可见正断层控制的北东向青山—长垌岩浆岩带,沿带分布着一系列 141~148 Ma 的花岗斑岩体(闫俊个人交流)。

2.3 北东东向左行平移断层

本组断裂主要分布在祁门—潜口断裂(F₁₄)以南的障公山构造区和白际岭构造区,主要断裂有蛟潭—祁门断裂(F₃)、瑶里断裂(F₄)、漳前断裂(F₅)、

歙县—三阳断裂(F_{10})、白际—街口断裂(F_7)等。除白际—街口断裂以外,其余断裂都是在早期逆冲推覆构造基础上发展起来的左行平移断裂,它们叠加在早期逆冲断层之上,使早期的缓倾冲断层产状变陡,并重新活动为平移断层,断层面发育近水平的擦痕和近直立的阶步,指示左行平移运动(图 3f)。歙县—三阳断裂是区内规模最大的叠加在早期逆冲断层之上的左行平移断裂,由一系列密集的区域尺度呈透入性的平移断层组成,平移剪切面组成的陡倾平移断裂带宽可达 3~5 km,断层面的近水平擦痕、挤压沟槽等^[29],都清楚的指示左行平移运动(图 7c)。

2.4 北北东向左行平移断层

区内北北东向断层非常发育,以北北东向斜穿研究区,主要断裂有宁国—绩溪断裂(F_{11})、五城—江湾断裂(F_6)、旌德断裂(F_{12})等,其中宁国—绩溪断裂和五城—江湾断裂分别是叠加在早期正断层和逆冲断层基础上发展起来的左行平移断裂。这些断裂主体以左行平移为特征,断层面陡倾向北西或南东,其上发育近水平擦痕,其上的阶步及牵引褶皱等指示断层的左行平移运动(图 7a, b)。这些断层切割早期东西向—近东西向构造线,造成早期地质体左行平移(如城安岩体、蓝田向斜、旌德岩体等),宁国—绩溪断裂的左行平移造成早期北东向构造线产生向北偏转,变成现今的北北东向(图 1),强烈的左行平移作用还导致旁侧形成褶皱轴近直立的牵引褶皱——倾竖褶皱^①,但这些褶皱一般只有露头规模且只出现在平移断裂带中。

2.5 北东东向右行平移断层

研究区右行平移断层作用强烈,断裂分布全区,是区内形成最晚,构造变形最清晰的断裂,除经公桥断裂、六都断裂等少数断裂为新形成的断裂外,其余大部分断裂都是在早期断裂基础上发展而来,断裂方向主要有北东向、北东东向至近东西向。

祁门—潜口断裂(F_{14})晚期主要的构造活动为右行走滑,沿主断裂两侧发育一系列近东西向右行平移断层,断层的位移主要通过密集的剪切劈理得以实现,其上发育近水平擦痕,断层面的擦痕、阶步及挤压沟槽、构造透镜体等都明确指示两盘岩石作右行平移运动(图 7d, e),强烈的右行平移作用还使早期的面理受到牵引,导致该区产状变陡,沿断层发育褶皱轴陡倾、甚至直立的倾竖褶皱(图 7f)。从祁门向西,该断裂逐渐发散为几条北东东走向平移断层并逐渐消失。

研究区歙县—三阳断裂以南至皖浙边界的白际岭构造带,右行平移断裂作用也非常强烈,断裂走向为北东向,主要断裂有歙县—三阳断裂(F_{10})、涪田—森村—武阳断裂(F_9)、岭南—小川断裂(F_8)和白际—街口断裂(F_7)。这些断裂都由早期北东向逆冲推覆断层或左行平移断层重新活动而成,断裂面陡倾,其上发育近水平擦痕,如歙县临川村可见到涪田—森村—武阳断裂的剪切劈理上,发育右行剪切平移擦痕,断面产状为 $160^\circ \angle 75^\circ$,擦痕倾伏角约 $10^\circ W$,沿断面发育细石英脉(2~10 cm)(图 7g)。断裂造成断裂两侧的地层作明显的右行平移(图 1),同时还出现断层尾端转换效应,即因右行平移牵引作用,断裂北盘的地层走向由北东向转为近南北向,形成南北向向东倒转的褶皱、由西向东逆冲的南北向冲断层(图 7h—i)。如白际—街口断裂北东端北盘形成牵引褶皱,原本北东东向的休宁组和寒武纪地层转变成南北向,井潭组火山岩向东逆冲在休宁组紫红色底砾岩之上,断面产状为 $290^\circ \angle 35^\circ$,构造透镜体及阶步均指示向东逆冲兼右行平移(图 7h)。而街口附近为白际—街口断裂的最东端尾部,北东向构造线被右行平移牵引变成近南北向,井潭组变火山岩向东逆冲在休宁组之上(图 7i)。歙县—三阳断裂和涪田—森村—武阳断裂北东端都有类似特征,沿歙县—三阳断裂的右行平移使断裂北盘地层向东平移达 15 km 左右,并在其北东端形成近向东倒转褶皱轴近南北的倒转向斜(图 1)。

2.6 北北东向逆冲断层

宁国—绩溪断裂带经历过早期左行平移和高角度正断层活动,成为控制绩溪—临溪盆地的边缘断层后,在燕山晚期转变为向北西西运动的冲断层,表现为新元古代—早古生代地层、燕山期花岗岩向北西西逆冲在上白垩统及以下地层之上。如在宁国市茶村—姚家塔路线构造剖面,寒武—奥陶纪地层向北西西逆冲在晚白垩世的赤山组(K_2c)之上(图 8),在绩溪金沙北下巷可见南东侧牛屋岩组千枚状粉砂岩逆冲在北西侧早白垩世的徽州组之上(图 6b),绩溪界水村休宁组及燕山期二长花岗岩向北西西逆冲在华严寺组之上。这些断裂的逆掩关系、断层带中的阶步等都一致地指示向北西西的逆冲作用,该逆冲推覆可能发生在晚白垩世之后,为区内晚期影响

① 安徽省地质调查院. 皖南构造带形成演化及其与成矿关系成果报告, 2015.



a—江湾—五城断裂寺下北东向片理化千枚岩台阶指示左行平移；b—宁国—绩溪断裂扬溪陡立的左行平移变形；c—歙县—三阳断裂歙县城南陡立断面上擦痕台阶及绿泥石线理指示左行平移；d—e—祁门—潜口断裂西段右行平移运动；f—祁门—潜口断裂西段平移运动导致的牵引-倾竖褶皱；g—歙县森村东临川陡立右行平移断层；h—歙县璜蔚休宁组底砾岩透镜体指示上部井潭组向东右行兼逆冲在休宁组之上；i—街口井潭组与休宁组之间逆-右行运动变形。

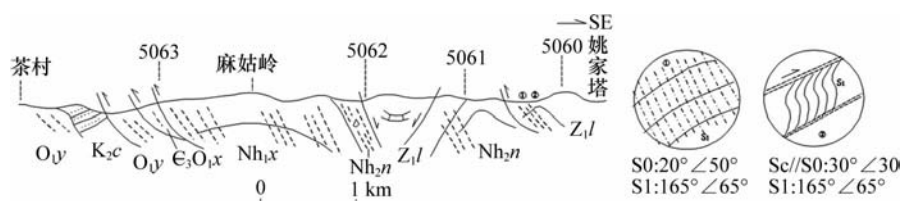
图 7 走滑断层及其相关变形野外照片
Fig. 7 Photos of strike-slip fault and its related deformation

较大的,对矿床起着破坏改造作用的逆冲构造。

3 变形期次和变形时代

根据上述不同方向、不同性质断裂构造的相互

切割及配套关系,可以划分出研究区相对的变形期次。然而,由于本区中生代以来的构造变形总体是处于地壳浅层次的脆性变形,同变形期形成的新矿物只有沿断层或劈理形成的绿泥石和绢云母,难以通过同位素年代学方法确定各期变形时间的年龄,

图8 宁国市茶村—姚家塔构造剖面^[30]Fig. 8 Structural section of Chacun - Yaojiata, Ningguo^[30]

因此只能根据卷入变形的地层和侵入岩,不整合关系和侵入关系等来确定各期变形的相对时代。

3.1 第一期变形

本区中生代第一期变形为北东东向逆冲推覆构造,以五城—江湾断裂为界,断裂北西的地层由北西南南东逆冲推覆,断裂东南的地层由南南东向北西西逆冲推覆。卷入逆冲推覆变形的主要为新元古代浅变质火山—沉积岩系和晋宁晚期钾长花岗斑岩。在皖赣交界的障公山逆冲推覆构造带,逆冲推覆构造前锋掩盖的最新地层为中侏罗统漳平组(J_2z)^[25]。在白际岭逆冲推覆构造带前缘,中侏罗统洪琴组被新元古代地层所逆掩(图4),表明位于五城—江湾断裂带两侧同一构造方向但不同逆冲方向的逆冲推覆构造为同一期构造变形。在休宁桃溪,本期逆冲断裂带中侵入有149 Ma的斜长花岗斑岩(据闫俊未发表资料)(图3d),说明这期逆冲推覆变形发生在中侏罗世(160 Ma)之后,斜长花岗斑岩侵位之前,约在160~150 Ma。

3.2 第二期变形

中生代第二期变形包括北东东—近东西向左行平移断层、北东向和北西向高角度正断层。卷入本区北东东向左行平移断裂作用的地层有新元古代浅变质火山岩系、新元古代花岗岩类和早中侏罗世地层。同时北东东向左行平移断层和北东向正断层都叠加在早期逆冲断层之上,说明本期变形晚于北东东向逆冲推覆构造(图3f)。区内的北西西向正断层和北北东向正断层控制了本区早白垩世盆地的形成和演化,沿北东向正断层侵入的149 Ma的花岗斑岩(图3d),进一步表明本期构造发生在白垩纪早期,约在150~135 Ma。

3.3 第三期变形

中生代第三期变形为北北东向左行平移断层。本组断层不但穿过新元古代—早古生代地层和北东向逆冲推覆构造带,还切过旌德岩体、榔桥岩体、伏

岭岩体等燕山早期^[19]花岗岩和早白垩世地层(如绩溪盆地东缘),但在晚白垩世地层中没有北北东向左行平移发育,表明本期构造形成于早白垩世晚期,约125~120 Ma。

3.4 第四期变形

中生代第四期变形为北东—北东东向右行平移断层,擦痕十分清晰且在区内广泛存在。本期构造明显叠加在早期北东东向左行平移断层之上,也叠加在北东向正断层之上(图3g),并穿过皖浙边境的青山—长陔燕山期花岗斑岩带,使带中的岩石地层受到北东东向右行平移改造(图3d、图4),表明本期形成于第三期变形之后,形成时代约在100 Ma之后。

3.5 第五期变形

中生代最后一期变形为北北东向逆冲断层,南华纪—早古生代地层沿宁国—绩溪断裂向北西西逆冲,卷入本期变形的最新地层为晚白垩世地层^[30]。歙县城东行知小学旁,可见新元古代歙县花岗闪长岩向北西西逆冲在晚白垩世地层之上;在绩溪际下钨矿的钻孔中发现,燕山期伏岭岩体(130.6 Ma^[19])向北西西逆冲在早古生代地层之上,均指示本期变形发生在晚白垩世后期或晚白垩世之后。

4 动力学背景

研究区地处大别山造山带的南缘,燕山期以来处于滨太平洋构造域,中生代以来构造运动先后受华北和华南陆块碰撞及太平洋板块向欧亚板块俯冲的影响。

研究区受华南板块与华北板块于印支期碰撞影响,构造作用受近东西向古特提斯构造体制控制,在燕山早期向北东—北北东向滨太平洋构造体制转换,转换作用发生的时间为早、中侏罗世(200~160 Ma)或中侏罗世(176~160 Ma)。唐永成等^[31]、

张岳桥等^[32]根据长江中下游地区的构造变形和磨拉石沉积, 把大别山碰撞造山的时限限定在中三叠世到中侏罗世末。中侏罗世以后, 中国东部的动力学体制由古特提斯构造域控制转向受滨太平洋构造域控制^[31-34]。此后, 研究区的构造作用主要受太平洋板块的俯冲作用所影响。太平洋板块在中生代的俯冲方向、俯冲角度和速率曾发生多次变化, 控制了包括研究区在内的中国东部的构造作用特征^[35-39]。

研究区第一期近南北向挤压形成的逆冲推覆构造只出现在中侏罗统及更老地层中, 具有古特提斯构造域近东西向构造线的特征, 构造应力场为近南北向挤压, 应该是华南板块与华北板块碰撞最后阶段南北向挤压作用的结果。

第二期变形可能与古太平洋板块斜向俯冲作用有关^[36-37], 其构造应力场为北东向挤压、北西-南东向拉张。在该应力场作用下, 北东东向歙县-祁门断层处于压扭状态, 作逆冲-左行平移运动。由于北西-南东向的伸展, 形成近北东-南西向的早白垩世陆内盆地, 区内出现强烈的岩浆活动, 造成 150~136 Ma 的花岗闪长岩-二长花岗岩广泛侵入^[19, 40-42]。

第三期变形与太平洋板块的正向俯冲有关, 太平洋板块在 125~120 Ma 期间俯冲方向由南西向斜向俯冲转为正向俯冲^[36-37, 39], 中国东南部在此次挤压事件中形成一系列左行平移断层^[39], 区内的北东东向左行平移断层在此时形成^[39, 43]。

第四期变形出现在 100 Ma 左右, 此时太平洋板块向南西斜向俯冲^[36-37], 区域应力场为北西-南东向挤压, 区内发育北东东-近东西向断层右行平移断层构造, 祁门-潜口断裂和歙县-三阳断裂带受到右行平移断层作用强烈改造。

区内最晚一期变形为北北东向逆冲断层作用, 构造应力场为近东西向挤压, 对应于 75 Ma 左右太平洋板块向北西西的俯冲作用^[36-37], 同时与西太平洋板块弧后扩张产生向西的侧向推挤力和印度板块向北俯冲碰撞产生的向东构造挤出共同作用有关。

4 结论

(1) 皖浙赣邻区中生代以来的主要构造变形可划分为五期。第一期为中侏罗世到早白垩世初的北东东向逆冲推覆构造, 形成时间大约为 160~150 Ma。第二期为早白垩世初的高角度正断层作用和北东东

向左行平移断层, 形成于 150~130 Ma 左右。第三期变形为北北东向左行平移断层, 形成于 125~120 Ma 左右。第四期变形为早白垩世晚期的北东-北东东向右行平移运动, 形成于晚白垩世末的 100 Ma 左右。最后一期为晚白垩世早期(75 Ma 左右)的北北东向逆冲断层构造。

(2) 区内中生代以来各期构造变形与华南板块和华北板块最晚期的碰撞作用, 太平洋板块向欧亚大陆不同角度的俯冲及印度板块向欧亚板块俯冲后产生向东的构造挤出有关, 是在中生代多板块构造体质下共同作用的结果。

参考文献

- [1] 薛怀民, 马芳, 宋永勤, 等. 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, 2010, 26(11): 3215-3244.
- [2] Zhang C L, Li H K, Santosh M. Revisiting the tectonic evolution of South China: Interaction between the Rodinia superplume and plate subduction[J]? Terra Nova, 2013, 25: 212-220.
- [3] Zhang C L, Santosh M, Zou H B, et al. The Fuchuan ophiolite in Jiangnan Orogen: Geochemistry, zircon U-Pb geochronology, Hf isotope and implications for the Neoproterozoic assembly of South China[J]. Lithos, 2013, 179: 263-274.
- [4] Zheng Y F, Zhang S B, Zhao Z F, et al. Contrasting zircon Hf and O isotopes in the two episodes of Neoproterozoic granitoids in South China: Implications for growth and reworking of continental crust[J]. Lithos, 2007, 96: 127-150.
- [5] 戴圣潜, 周存亭, 储东如, 等. 下扬子东南缘北段加里东期构造形迹新资料[J]. 地质通报, 2006, 25(6): 670-672.
- [6] 余心起, 江来利, 许卫, 等. 皖浙赣断裂带的界定及其基本特征[J]. 地学前缘, 2007, 14(3): 102-113.
- [7] 马荣生, 王爱国. 皖南晚元古代碰撞造山带构造轮廓[J]. 安徽地质, 1994, 4(1/2): 14-22.
- [8] 张彦杰, 周效华, 廖圣兵. 皖赣祁公山地区新元古代地壳组成及造山过程[J]. 地质学报, 2010, 84(10): 1401-1427.
- [9] 张彦杰, 廖圣兵, 周效华, 等. 江南造山带北缘祁公山地区新元古代地层构造变形特征及其动力学机制[J]. 中国地质, 2010, 37(4): 978-994.
- [10] 张彦杰, 周效华, 廖圣兵, 等. 江南造山带北缘祁源基性岩地质-地球化学特征及成因机制[J]. 高校地质学报, 2011, 17(3): 393-405.
- [11] 高林志, 杨明桂, 丁孝忠, 等. 华南双桥山群和河上镇群凝灰岩中的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄: 对江南新元古代造山带

- 演化的制约[J]. 地质通报, 2008, 27(10): 1744-1751.
- [12] 高林志, 张传恒, 刘鹏举, 等. 华北—江南地区中、新元古代地层格架的再认识[J]. 地球学报, 2009, 30(4): 433-446.
- [13] 高林志, 丁孝忠, 张传恒, 等. 江南古陆变质基底地层年代的修正和武陵运动构造意义[J]. 资源调查与环境, 2012, 33(2): 71-75.
- [14] 王自强, 高林志, 丁孝忠, 等. “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, 2012, 58(3): 401-413.
- [15] Wang X L, Shu L S, Xing G F, et al. Post-orogenic extension in the eastern part of the Jiangnan orogen: Evidence from ca 800-760 Ma volcanic rocks[J]. Precambrian Research, 2012, 222/223: 404-423.
- [16] 袁峰, 周涛发, 范裕, 等. 皖赣相邻区燕山期花岗岩类构造背景及其意义[J]. 合肥工业大学学报(自然科学版), 2005, 28(9): 1130-1205.
- [17] 余明刚, 邢光福, 张彦杰, 等. 皖赣交界障公山地区燕山期花岗岩年代学和地球化学及成因研究[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2009, 28(增刊): 128.
- [18] 段留安, 杨晓勇, 孙卫东, 等. 皖南天井山金矿床地质-地球化学特征及找矿前景[J]. 地质学报, 2011, 85(6): 965-978.
- [19] Wu F Y, Ji W Q, Sun D H, et al. Zircon U-Pb geochronology and Hf isotopic compositions of the Mesozoic granites in southern Anhui Province, China[J]. Lithos, 2012, 150: 6-25.
- [20] 余心起, 王德恩. 皖南屯溪盆地陆相层序地层学特征[J]. 安徽地质, 1999, 9(1): 30-36.
- [21] 余心起, 王德恩. 安徽黄山地区侏罗纪—白垩纪层序地层学特征[J]. 现代地质, 2001, 15(1): 27-34.
- [22] 余心起. 皖南中生代构造运动新认识[J]. 火山地质与矿产, 1993, 14(1): 61-70.
- [23] 朱光, 刘国生. 皖南江南陆内造山带的基本特征与中生代造山过程[J]. 大地构造与成矿学, 2000, 24(2): 103-111.
- [24] 张彦杰, 周效华, 廖圣兵, 等. 江南造山带北缘障公山地区逆冲—推覆构造特征[J]. 资源调查与环境, 2013, 34(2): 71-79.
- [25] 江西省地质矿产厅. 江西省岩石地层[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1997: 1-378.
- [26] 潘国林, 胡召齐, 朱强, 等. 皖浙赣相邻区中生代以来构造活动及古应力场特征[J]. 地质科学, 2014, 49(2): 417-430.
- [27] 徐嘉炜. 郯庐断裂带巨大的左行平移运动[J]. 合肥工业大学学报, 1980, 1(1): 1-25.
- [28] 徐嘉炜. 中国东部中生代平移断裂的变格作用[J]. 合肥工业大学学报, 1986, 8(3): 20-30.
- [29] 侯明金, 王永敏. 断裂带的动力学分析: “利用断层面上擦痕的观察、测量计算主应力轴状态”方法简介[J]. 安徽地质, 2002, 12(2): 86-91.
- [30] 徐树桐, 陈冠宝, 董树文, 等. 安徽省主要构造要素的变形和演化[M]. 北京: 海洋出版社, 1987: 1-145.
- [31] 唐永成, 吴言昌, 储国正, 等. 安徽沿江地区铜金多金属矿床地质[M]. 北京: 地质出版社, 1998: 1-351.
- [32] 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.
- [33] 董树文, 张岳桥, 龙长兴, 等. 中国侏罗纪构造变革与燕山运动新诠释[J]. 地质学报, 2007, 81(11): 1449-1461.
- [34] 余心起, 吴淦国, 张达, 等. 中国东南部中生代构造体制转换作用研究进展[J]. 自然科学进展, 2005, 15(10): 1167-1174.
- [35] Isozaki Y. Jurassic accretion tectonics of Japan[J]. The Island Arc, 1997, 6: 25-51.
- [36] Koppers A A P, Morgan J P, Morgan J W, et al. Testing the fixed hotspot hypothesis using $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ age progressions along seamount trails[J]. Earth and Planetary Science Letters, 2001, 185: 237-252.
- [37] Koppers A A P, Staudigel H, Duncan R A. High-resolution $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating of the oldest oceanic basement basalts in the western Pacific Basin[J]. Geochemistry, Geophysics, Geosystems, 2003, 4(11): 8914.
- [38] Maruyama S, Isozaki Y, Kimura G, et al. Paleogeographic maps of the Japanese islands: Plate tectonic synthesis from 750 Ma to the present[J]. Island Arc, 1997, 6: 121-142.
- [39] 孙卫东, 凌明星, 汪方跃, 等. 太平洋板块俯冲与中国东部中生代地质事件[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2008, 27(3): 218-225.
- [40] 薛怀民, 汪应庚, 马芳, 等. 皖南太平—黄山复合岩体的 SHRIMP 年代学: 由钙碱性向碱性转变对扬子克拉通东南部中生代岩石圈减薄时间的约束[J]. 中国科学: D 辑, 2009, 39(7): 979-993.
- [41] 周翔, 余心起, 王德恩, 等. 皖南东源含 W、Mo 花岗闪长斑岩及成矿年代学研究[J]. 现代地质, 2011, 25(2): 201-210.
- [42] 毛建仁, 厉子龙, 叶海敏. 华南中生代构造—岩浆活动研究: 现状与前景[J]. 中国科学: D 辑, 2014, 44(12): 2593-2617.
- [43] 朱光, 王道轩, 刘国生, 等. 郯庐断裂带的演化及其对西太平洋板块运动的响应[J]. 地质科学, 2004, 39(1): 36-49.