

华南陆区板块活动与构造体系的形成演化

——纪念李四光先生诞辰 130 周年

杨明桂, 王光辉

江西省地质矿产勘查开发局, 南昌, 330002

内容提要: 本文通过华南陆区中新元古代以来板块活动与构造体系的“一体化”融合研究, 从构造体系形变特征、形成演化历史、形成机制等方面分析了其与板块活动的成生联系。构建了区内以扬子反 S 型构造体系、新华夏构造体系、南岭纬向带为主体的多体系复合构造格局。其中, 新厘定的扬子反 S 型构造体系为扬子板块的主体构造, 原属于华夏系, 莫基于晋宁期扬子、华夏板块的陆陆碰撞, 定型于燕山陆内活化造山时期。新华夏构造体系为滨西太平洋的主体构造, 包括具有成生联系的北东向华夏式和北北东向新华夏式两种型式, 共同经历了燕山期挤压扭动成型、造山后伸展和第四纪以来的弱挤压的演变过程。著名的南岭纬向带主要成型于燕山期的板内经向挤压, 以东西向叠加褶皱-花岗岩带为主要特征, 活动至今。在此基础上, 简要论述了主要构造体系复合控制区域成矿区带和分级控制矿集区、矿田、矿床特征以及燕山期岩浆成矿大爆发的核幔式扩展模式。论证了区内燕山期陆内活化造山具有以欧亚板块与太平洋板块近南北向相对左行扭动为主导的多向汇聚、多因复合的动力学特征。

关键词: 华南; 构造体系; 板块活动; 资源环境; 动力学

上世纪 20 年代李四光先生开创的地质力学理论与 60 年代 Wilson(1965) 创立的板块学说, 是世界地质领域最重大的理论贡献。其中, 构造体系又是地质力学的核心部分, 它开辟了从构造形迹的成生联系与组合规律研究地壳运动的科学途径。众所周知, 板块学说登陆后, 将全球构造研究推向了新的境界, 但大陆构造十分复杂, 研究难度很大, 而构造体系研究正是一把打开大陆构造研究的钥匙, 与板块研究有很强的互补性。二者紧密结合有助于构成我国地质构造研究的独有特色与科学优势。笔者在长期从事华南地质研究的基础上, 于 2015 年以来进行“华夏成矿省华南洋-滨太平洋构造演化与成矿作用”研究工作中, 把板块活动与构造体系的形成演化密切结合起来研究, 发现我国大型的构造体系不是一次构造事件的产物, 往往经历了漫长、多期的形成发展演化过程。对此, 进行了历史研究分析, 并根据新的地质调查资料, 对李四光先生建立的构造体系进行了新的厘定和阐释, 更好地揭示了区域地质构造及其演化特征, 更深刻地认识到地质构造控矿等

规律。现将取得的有关认识作一简介, 与同行商讨, 并以此作为对敬爱的李四光先生 130 周年诞辰的纪念。

1 华南板块构造与构造体系概述

华南陆区位于欧亚板块东南部, 包括扬子、华夏两个中新元古代晋宁期板块。北面以中央造山带与中朝板块相隔, 东面为太平洋板块、菲律宾海板块, 西面为青藏造山带及印度板块。长期以来, 板块间相互作用与板内伸展、挤压形成了多种构造体系。

华南地区的构造体系在李四光先生(1926, 1929, 1973)划分的基础上, 上世纪七十至八十年代, 通过各省 1:50 万、全国 1:500 万、1:250 万构造体系图的编制以及孙殿卿院士等(1982)总结, 研究程度得到进一步细化、深化。从上世纪 90 年代以来, 通过大面积 1:5 万、1:25 万地质调查和全国 1:500 万、1:250 万、1:100 万地质图件的编制以及大量地质资源勘查与科学研究, 取得了更加丰富的资料, 对华南地区的构造体系有了一些新的认识

注: 本文为中国地质科学院矿产资源研究所委托项目“华南洋-滨太平洋构造演化与成矿作用”研究专题资助成果。

收稿日期: 2018-12-17; 改回日期: 2019-02-27; 网络发表日期: 2019-03-07; 责任编辑: 周健。

作者简介: 杨明桂, 男, 1933 年生。教授级高级工程师, 从事区域地质调查、矿产勘查和科研工作。Email: jxjudkc@126.com。

引用本文: 杨明桂, 王光辉. 2019. 华南陆区板块活动与构造体系的形成演化. 地质学报, 93(3): 528~544, doi: 10.19762/j.cnki.dizhixuebao.2019065.

Yang Minggui, Wang Guanghui. 2019. Formation and evolution of the plate activity and the structural system in the South China continental region. Acta Geologica Sinica, 93(3): 528~544.

(图 1)。

西向延长,面积约 80 余万平方千米,经历了陆陆碰撞一边部增生一挤压扭动定型,总计约 7 亿年的漫长发展历程。

2.1 中一新元古代晋宁期扬子与华夏板块碰撞奠基期

Yang Minggui et al. (2015)在前人调研工作的基础上,对浏阳-宜丰、德兴-弋阳、歙县 3 个新元古代准原地蛇绿岩片(968 ± 23 ~ 840 ± 5Ma, Li Xianhua et al. ,1994;Shu et al. ,2019)以及德兴西湾一弋阳绕二一带 799.3 ± 9.2Ma 的蓝闪片岩(Shu Liangshu et al. ,1994)做了进一步研究(图 2)。结合地层、构造的综合分析,根据弋阳铁沙街岩片获有多组 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄值在 1172 ± 9.7 ~ 1132 ± 8Ma 之间(Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development of Jiangxi Province, 2017),构建了中新元古代(约 1200 ~ 820Ma)华南

洋及其陆缘弧盆结构,洋盆消亡,扬子、华夏板块碰撞形成了钦(州湾)-杭(州湾)结合带、武陵山-沿(长)江弧后盆地、江南岛弧、造山带与残留的信江-钱塘岛弧等反 S 状造山带(图 3)。

推测华南洋可能呈北东-东西-北东向展布,在近南北向俯冲消亡、陆陆对接碰撞过程中,又受到上扬子陆核阻挡,形成了东段走向北东,中段走向近东西,西段走向北北东-北东,总体呈反 S 状的构造带,为扬子反 S 型构造体系的奠基时期。

2.2 青白口纪晚期一早古生代扬子-加里东期华南裂谷系闭合造山增生期

Yang Minggui et al. (2012)对华南裂谷系的进一步研究表明,裂谷活动始于青白口纪晚期约 815Ma 前后,华南陆壳强烈裂解,钦杭结合带转变为裂谷海槽,扬子反 S 构造体系南部遭到破坏,其结构以钦杭裂谷为主轴,以南华裂谷海盆为主体,以南

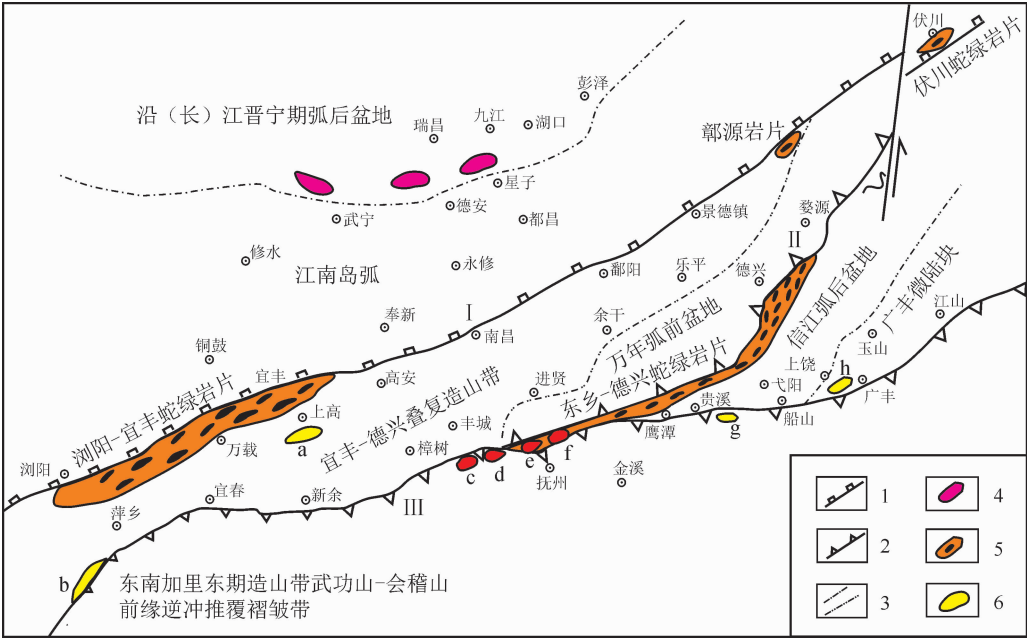


图 2 浏阳—德兴—伏川地区蛇绿岩片与构造岩片分布略图(据杨明桂等,2015)

Fig. 2 Distribution of the ophiolite and tectonic rock pills in the area of Liuyang-Dexing-Fuchuan (after Yang Minggui et al. , 2015)

1—板块对接带;2—地壳叠接带;3—三级构造单位/四级构造单位分界线;4—青白口系下部筲箕洼段火山岩;5—中一新元古代洋壳残迹岩片;6—新元古代构造岩片;a—早南华世漫田岩片;b—南华纪—寒武纪广寒寨岩片;c—早南华世—青白口纪晚期白土混杂岩块;d—早南华世乌石岩片;e—震旦纪黄马岩片;f—何坊-杨溪登山群混杂岩片;g—中元古代铁沙街岩片;h—中元古代田里岩片露头点;I—宜丰-景德镇板块对接带;II—德兴-弋阳地壳叠接带;III—萍乡-广丰-绍兴地壳叠接带

1—Plate junction belt; 2—crust overlapping and junction zone; 3—dividing line for grade 3 and grade 4 tectonic units; 4—Shaojiwa volcanics zone of the Lower Qingbaikou System; 5—oceanic remnant rock slice of the Mesoproterozoic-Neoproterozoic; 6—tectonic rock slice of the Neoproterozoic; a—Mantian rock slice of the early Nanhua Epoch; b—Guanghanzhai rock slice of the Nanhua-Cambrian; c—Baitu mixed rock mass of the early Nanhua-late Qingbaikou Period; d—Wushi rock slice of the early Nanhua Epoch; e—Huangma rock slice of the Sinian Period; f—Hefang-Yangxi rock slices of the Dengshan Group; g—Tieshajie rock slice of the Mesoproterozoic; h—Tianli rock slice outcrop of the Mesoproterozoic; I—Yifeng-Jingdezhen slate junction belt; II—Dexing-Yiyang crust overlapping and junction zone; III—Pingxiang-Guangfeng-Shaoxing crust overlapping and junction zone

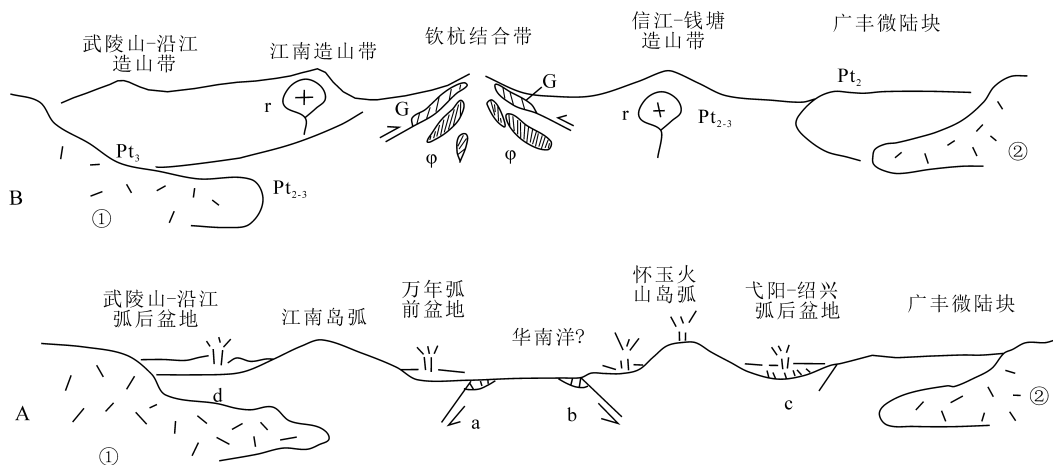


图 3 中新元古代华南海发展演化示意图(据杨明桂等,2015)

Fig. 3 Development and evolution schematic sketch for South China Ocean of the Neoproterozoic

(after Yang Minggui et al. , 2015)

A—华南海弧盆结构;B—华南海消亡造山构造;①—扬子古元古代克拉通;②—华夏古元古代克拉通;Pt₃—新元古界下部;Pt₂₋₃—中元古界—新元古界下部;Pt₂—中元古界;φ—蛇绿岩套;r—花岗岩;G—高压变质带;a—宜丰含铜蛇绿岩;b—德兴含金蛇绿岩;c—铁沙街—平水含铜火山建造;d—枕状熔岩细碧岩石英角斑岩建造

A—Arc-basin structure of the South China ocean; B—extinct orogeny tectonic of the South China ocean; ①—Paleoproterozoic craton of the Yangtze; ②—Paleoproterozoic craton of the Cathaysian; Pt₃—lower Neoproterozoic; Pt₂₋₃—Mesoproterozoic-lower Neoproterozoic; Pt₂—Mesoproterozoic; φ—ophiolite suite; r—granite; G—high pressure metamorphic belt; a—Yifeng copper-bearing ophiolite slices; b—Dexing gold-bearing ophiolite slices; c—Tieshajie-Pingshui copper-bearing volcano formation; d—pillow lava spilite angular porphyry formation

岭地区为中心海盆,北东缘为皖浙赣铀坳区,西北缘为湘黔桂斜坡坳区,裂谷海盆于志留纪时封闭,发生了加里东期造山,呈现“北贴西拼”的运动学特征,反 S 状的钦杭带褶皱两侧发生对冲,其东南侧的东南造山带向前陆拼贴,形成了诸广山-万洋山-武功山-会稽山约略呈反 S 状的褶皱-花岗岩带,构成扬子反 S 型构造体系东南侧的一条增生带。

2.3 晚古生代—早中生代华力西-印支期陆表海沉积-褶皱叠加时期

华南地区华力西-印支期形成了泥盆纪—中三叠世以陆表海为主的沉积。中三叠世末发生的印支运动对反 S 型构造格局无重大影响,主要使钦杭带及其以南地区沉积盖层褶皱,江南带及其以北地区以地壳隆升为主,完成了华南由海到陆的转变。在右江地区形成了北西向褶皱带,在华南南部的盖层褶皱显示,运动也呈现“北贴西拼”的汇聚特点。其中,钦杭带受前期构造约束,形成了一条总体呈反 S 状的大型沉积盖层褶皱带。

2.4 晚中生代燕山期扬子反 S 型扭动构造体系大规模增生定型期

燕山运动时期,扬子反 S 型构造体系在前期构造基础上,发生了强烈的大规模左行扭动与近南北向陆内收缩,扬子陆块由江南地区至四川盆地东缘

的华蓥山一带,青白口纪晚期以来形成的沉积盖层广泛发生褶皱。构造体系基本定型,形成了淮阳、华蓥山、九华山-通山-武陵山、江南、雪峰山、钦杭、会稽山-诸广山-云开大山等一系列弧形构造,组成总体向北东方向收敛,中部横亘向南西方向撒开的巨型反 S 型构造体系,与青藏巨型 S 型构造体系相对呈犄角之势。其中,九华山-通山-武陵山、江南、钦杭 3 带反 S 型构造尤为连贯清晰。在川东、武陵山地区形成一个北段近东西向,中段转为北东向、南段转为北北东、近南北向的隔挡式弧形褶皱裙,总体显示呈反钟向扭动。在重庆地区沿华蓥山断裂带东侧形成向北北东方向收敛,向南南东撒开的帚状褶皱带(Zhang Yueqiao et al. ,2011),呈反钟向旋扭。在武陵山脉张家界一带,褶皱带向北西呈弧形弯曲,部分褶曲轴作左行侧列,显示第二序次的顺钟向扭动。

3 新华夏构造体系

3.1 新华夏构造体系的基本特征

根据李四光先生的厘定,新华夏构造体系主体为北北东向多字型扭动构造,主要由三条隆起带和三条沉降带组成。此后研究者众多。在已有研究成果的基础上,笔者根据大量地质资料,有以下几点新的认识:

第一,燕山期新华夏构造体系为滨西太平洋构造的主体构造,其构造反映了欧亚板块与古太平洋板块的相互作用的演变历程。由于陆内地壳硬化程度较高,与陆缘弧盆组成不同。从形变特征与控岩控矿作用来看,可分为构造背景与边界条件有明显差异的陆内活化造山带与陆缘弧盆造山带两大带(图 4)。

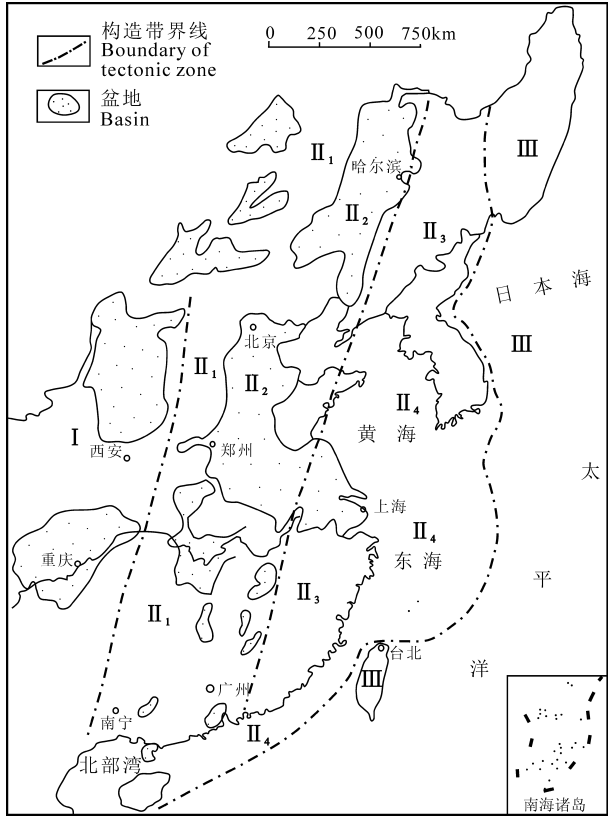


图 4 中国东部及邻区新华夏系构造轮廓图
(据谭忠福等,1988 修改)

Fig. 4 Tectonic skeleton map of the new Cathaysian structural system in eastern China and adjacent areas
(modified after Tan Zhongfu et al., 1988)

I—贺兰-川滇经向构造带; II—新华夏系陆内构造带; II₁—大兴安岭-太行山-武陵山隆起带; II₂—松辽-华北-北部湾沉降带; II₃—长白山-武夷山隆起带; II₄—黄海-东海大型陆缘海; III—陆缘弧盆带
I—Meridional tectonic belt of the Helan to Sichuan and Yunnan;
II—intracontinental tectonic belt of the new Cathaysian structural system; II₁—uplifted zone of the Da Hinggan Mountains-Taihang Mountains-Wuling Mountains; II₂—subsidence belt of the Songliao-North China-Beibu Gulf; II₃—uplifted zone of the Changbai Mountains-Wuyi Mountains; II₄—continental marginal sea of the Yellow Sea-East China Sea; III—continental margin arc basin zone

陆内燕山期造山带及造山后盆地主要为“两隆两沉”组成,即大兴安岭-太行山-武陵山、长白山-黄

山-武夷山两条北北东向隆起带和松辽-华北-北部湾与黄海-东海两条沉降带,伸入陆内约 1000 余千米。至于贺兰-川滇构造带,鉴于该带受古太平洋构造活动影响较弱,应属纵贯我国中部的南北向(经向)构造带,值得进一步研究。新华夏系在华南陆区由于受来自台湾方向的板块活动影响,燕山期造山后未形成松辽、华北那样的大型沉降盆地,而是在复合归并前期构造的基础上,形成一系列北北东向的雪峰、洞庭-衡阳、罗霄-云开、赣鄱、雩山、抚河、武夷、永梅、戴云等岭盆相间的构造-地貌景观。

第二,华夏系列构造,曾有华夏系、新华夏系与华夏式之分。据李四光(1973)划分,中国境内属于多字型的两种褶皱带,其一走向北东,称为华夏系构造,另一种走向北北东,称为新华夏系构造。华夏系构造一般是比较古老的构造体系,但某些地区出现于白垩纪、古近纪地层中,暂称为华夏式构造。前已述及,区内的华夏系大部分构造已归于扬子反 S 型构造体系。燕山期滨太平洋构造活动形成的北东向、北北东向两套左行挤压走滑断裂带。前者长期归于华夏构造体系,后者称新华夏构造体系,并认为前者早于后者。区内经长期调研发现,二者均形成于燕山期,后期经历了同样性质转变,并延续至今。前人所称的华夏式构造,实际是二者后期继续活动和不断发展转化的产物。根据观察,华南燕山期北东向褶皱带不多,其断裂带部分为归并复合前期不同体系不同性质的北东向断裂,部分断裂为北北东向断裂派生或复合加强。部分断裂带如郯庐断裂带,中段为北北东向,南北两端为北东向。区内多数北北东向断裂带近东南沿海时向北东向、北东东向偏转,显然与弧形陆缘的边界条件有关。如浙闽粤沿海一系列自北而南由北北东、北东、北东东向弯转的压扭性断裂带与配套的垂直海岸带的北西向张性、张剪性断裂带,长期以来均归属于新华夏构造体系。北北东向与北东向断裂往往可互相派生,如在罗霄、雩山北北东向至近南北向的隆起带之间,由于两条隆起带相对左行扭动形成了北东向赣鄱断裂系,发育一系列北东向左行挤压走滑断裂带,晚期成为鄱阳、吉泰、赣州等赣鄱断陷盆地带的控盆断裂。所以,北东向与北北东向断裂带的形成一是与边界条件不同有关;二是在陆、洋板块近南北向左行扭动作用下,初期形成北东向断裂带,随扭动发展形成北北东向断裂带,以至后者走滑特征更为明显。但也有不少北东向断裂带形成较晚,甚至出现于早白垩世晚期,二者总体上为同期形成、同发展演化、同构

造动力学环境形成的构造。北北东向构造规模大,形成不同等级隆起带、坳(断)陷带,北东向构造未形成大型构造带,其形迹主要被复合、包容于北北东向构造带之中,未能形成独立的区域性构造体系。笔者建议二者宜分为北东向华夏式和北北东向新华夏式两种构造样式,统一归于新华夏构造体系,以利于区域构造格局构建和具体构造解析。华夏式构造在中大比例尺度调研中往往具有重要意义。

3.2 华南陆区新华夏构造体系格局及其复合特征

华南陆区燕山期时陆壳硬化程度较高。新华夏系以较开阔褶皱、断裂和隆起、坳陷为主要形变特征。晚白垩世时,华南大陆在伸展的同时,向西掀斜,福建境内晚白垩世沉积很少,至古近纪断陷红盆沉积已西移至赣江及其以西地区,古近纪末盆地宣告萎缩。至此,新华夏系的构造格局基本定型。新近纪以来处于弱挤压环境,第四纪时部分断裂发生“回春”活动。

3.2.1 新华夏系“隆坳陷”构造格局的形成与演化

燕山期以来,新华夏系对前期构造进行了多阶段席卷式复合改造,形成了以北北东向为主导的隆起、坳陷、断陷盆地构造格局,决定其构造格局的构造过程主要有两个阶段。第一阶段为燕山造山期新华夏系对前期构造的复合关系有两种基本样式。一是,新华夏系与扬子反S型构造体系的长江中下游、江南、钦杭等弧形构造复合,表现为反S构造南西段如雪峰、湘桂、钦杭南段,北东段的长江中下游、江南、钦杭东段以北北东、北东或近南北向的段落,以重接、斜接复合为主,在反S构造中段以近东西向、北东东向的段落以反接或大角度斜接为主,均仍保持反S构造隆起、坳陷的基本格局,如长江中下游坳陷带、江南隆起带、钦杭坳陷带。二是,受新华夏动力体系作用,使东南加里东期造山带形成一个大型的北北东向隆起区,仅有永(安)梅(州)、宁(都)于(都)等中小型坳陷或向斜残留。在前期比较紊乱复杂的构造基础上,迁就利用一些北北东向、北东向、近南北向构造片段,形成了诸广-云开、零山-罗浮山、武夷等北北东向新华夏系构造隆起带。第二阶段为燕山造山后的晚白垩世—古近纪伸展期,陆壳由挤压扭动环境转变为拉张,迁就前期构造,形成一系列北北东向断隆带和侧列式、雁列式红层断陷盆地组成的断陷带。新华夏系隆起、坳(断)陷结构此时定型。在华南东部自西而东,有雪峰隆起、湘桂坳陷与江汉-衡阳-钦州湾断陷带,幕阜-罗霄-云开隆起带,黄梅-鄱阳-吉泰-珠江口断陷带,鄣公山-零山-九

连山隆起带,抚河-东江断陷带,黄山-武夷隆起带,永梅坳(断)陷带与东南沿海早白垩世火山盆地。受这一系列北北东向隆起、坳陷、断陷带以及断裂带控制,形成了华南东部陆区以北北东向为主体的盆岭景观与湘江、赣江、抚河北去,北江、韩江南流、九龙江、闽江东南流的新华夏式水网。

3.2.2 断裂构造特征

华南新华夏系断裂构造包括强大的以北北东向为骨干的断裂系统和高密度的剪切裂隙群。

3.2.2.1 以郯庐断裂集群为中心的北北东向断裂系统

燕山期时我国东部形成了由郯庐、赣江、吴川-四会断裂系为中心的北北东向巨大的左行挤压走滑系统。在华南陆区自西而东有益阳-三江、济宁-团风-北海、鹰潭-安远-惠州、镇江-宁国-永平-河源、松阳-政和-莲花山、长乐-南澳与丽水-南靖-海丰南等著名的断裂带。其中,郯庐、赣江-吴川断裂系与其西侧的济宁-团风-北海和东侧的镇江-宁国-永平-河源断裂系组成的北北东向断裂集群,成为我国东部新华夏系北北东向断裂系统的中轴和最重要的控岩控矿断裂集群,这些断裂并非作简单左行走滑,而是具有明显的挤压特征,并出现逆冲推覆活动,有的旁侧还见有小型北北东向褶皱。其断裂特点还与陆壳性质相关。在华北陆块断裂带连续性较好,平直伸长,至扬子陆块,连续性趋弱,在东南造山带以断续式左行侧列展布为主。大部分断裂南段向南西方向偏转,与其相伴的断裂主要为北西西向的张、张剪性断裂带,其次有东西向、近南北向走滑断裂带。

华南陆区北北东向走滑作用各段落启动时间有所不同,始自中侏罗世,定型于早白垩世,均结束于100Ma前后。进入燕山造山后的晚白垩世至古近纪伸展期,郯庐断裂系统及我国东部大陆区的北北东向左行挤压走滑断裂系统普遍转化为拉张性质,局部兼有小规模右行错动。多数成为控制红层断陷盆地断裂。郯庐断裂系在地貌上为一条纵贯中国东部的谷地。需要说明的是,郯庐断裂为中心的断裂带集群西侧的济宁-团风-北海断裂系,北自济宁-阜阳、麻城-团风、湘东断裂带,南与北海-萍乡-绍兴断裂带的南西段,即萍乡-北海断裂带左行侧列相联,是一条重要的控岩控矿断裂带,东侧的镇江-宁国-永平-河源断裂系,北起镇江-宁国,进入东南造山带后分为两支,西支为鹰潭-安远-惠州断裂带,东支为永平-河源断裂带,也是一条重要的控岩、控矿和导热发震活动断裂带。

3.2.2.2 新华夏系高密度剪切裂隙带

新华夏系剪切裂隙带在南岭地区控制了数以万计的钨锡石英矿脉,为全球一大地质奇观,研究程度也较高。最发育的有 3 组(Yang Minggui et al., 1981),即北东向断裂派生的近东西向左行-剪切裂隙带和由北北东向断裂派生的北东东向右行剪张裂隙带和北西西向左行张剪裂隙带,其次为北北西向、北北东向、近南北向剪张裂隙带,均以密集成组、成带、陡倾平直伸展、单脉呈侧列展布为特征。

现以郟庐南段-赣江构造带为例,进一步说明新华夏构造体系特征(图 5)。该带处于郟庐断裂带南

段,以麻城-团风-湘东-郴州、赣江、宁国-鹰潭-安远 3 条北北东向侧列展布的挤压走滑断裂带为主干。由于郟庐断裂带左行走滑、大别地块长距离向南南西推覆,幕阜-罗霄、黄山-武夷地块相对向北扭动,在前期构造的基础上,形成了 3 种典型的复合构造样式,清晰地反映了在新华夏动力体系作用下陆壳强烈扭动的特征。

一是,沿湘东-萍乡-北海断裂带形成了由长沙至北海一串十多个北北东向侧列式上叠断陷盆地及其间的断隆构造。

二是,在湘东-萍乡-郴州断裂带与赣江断裂带之间,扬子反 S 型构造中部的近东西向隆、坳构造受到左行扭动,形成了主体为近东西向的赣西反 S 型构造群,包括九岭、武功山、陈山反 S 状隆起式复背斜及萍乡-高安、莲花-永新、井冈山等反 S 状坳陷及复向斜。

三是,在赣江断裂带与鹰潭-安远断裂带之间形成了长江中下游九江-铜陵帚状旋卷褶皱群以及黄梅-鄱阳、抚州、吉泰、赣州、南雄-信丰等一串北东向雁列式断陷盆地与盆间隆起组成的总体呈北北东向的断陷构造带。

4 南岭纬向构造带的基本特征

“南岭何在”(Li Siguang, 1942)已研究讨论了七十多年。根据南岭地区大量地质调查资料,其规模与天山-阴山、昆仑-秦岭纬向构造带相比,要弱小的多,但对燕山期大规模岩浆成矿活动具有重要的构造复合控矿作用。

4.1 加里东期雏形期

扬子-加里东期华南裂谷系南华裂谷海盆于志留纪闭合造山,具有“北贴西拼”的运动学特征(Yang Minggui et al., 2012)。由于南岭岭南部分较岭北向西拼贴的幅度较大,残留下钦州裂谷海槽,形成了河池-寻乌东西向转换断裂带。期间又发生了岭南向北拼贴挤压聚合,形成了一些东西向褶皱片断,奠定了南岭纬向带的雏形。

4.2 燕山期定型期

南岭纬向带的形成,根据区域地质调查,加里东期“北贴西拼”造山在南岭地区出现的最重要的断裂带为河池-寻乌东西向基底断裂带,崇义-南康等地也有规模较小的东西向断裂形成。该期东西向褶皱主要分布于桂平-梧州-清远与南宁-贵港一带,呈片断状,未能形成连续的东西向褶皱带。

在 Xiong Chengyun et al. (1988)研究的基础

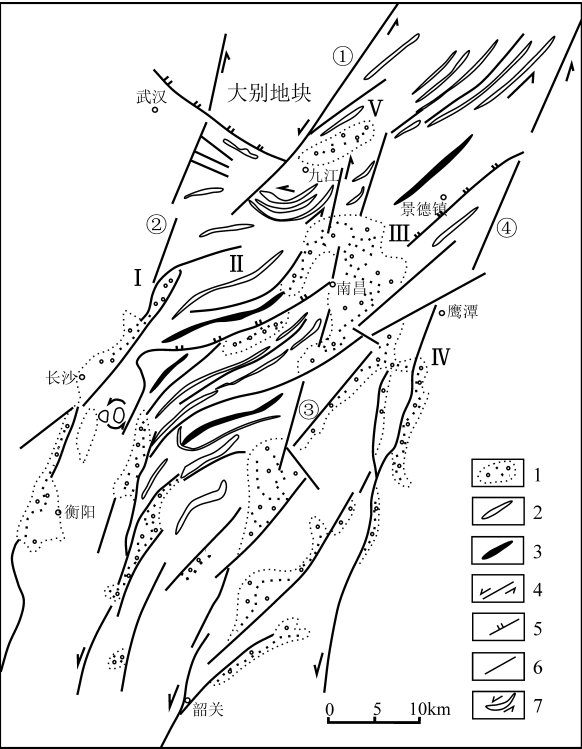


图 5 郟庐(南)-赣江扭动构造带略图

Fig. 5 Sketch map of the Tanlu (south)-Ganjiang wring tectonic zone

1—晚白垩世-古近纪断陷盆地; 2—沉积盖层褶皱; 3—隆起带轴线; 4—走滑断裂带; 5—逆冲推覆断裂带; 6—性质未分断裂; 7—旋卷构造; ①—郟庐断裂带; ②—麻城-团风-湘东-萍乡-郴州断裂带; ③—赣江断裂带; ④—宁国-鹰潭-安远断裂带; I—湘东侧列断陷盆地; II—赣西反 S 变形带; III—赣鄱雁列断陷盆地; IV—抚河断陷盆地; V—沿江旋卷褶皱带

1—Late Cretaceous-Paleogene graben basin; 2—sedimentary caprock folds; 3—uplifted zone axis; 4—strike-slip faults; 5—thrust and nappe faults; 6—property undivided faults; 7—coiling structure; ①—Tanlu faults; ②—Macheng-Tuanfeng-eastern Hunan-Pingxiang-Chenzhou faults; ③—Ganjiang faults; ④—Ningguo-Yingtian-Anyuan faults; I—lateral graben basin zone in eastern Hunan; II—anti-S deformation zone in western Jiangxi; III—echelon graben basin zone in Jiangxi Poyan; IV—Fuhe graben basin zone; V—spiral folds along the river

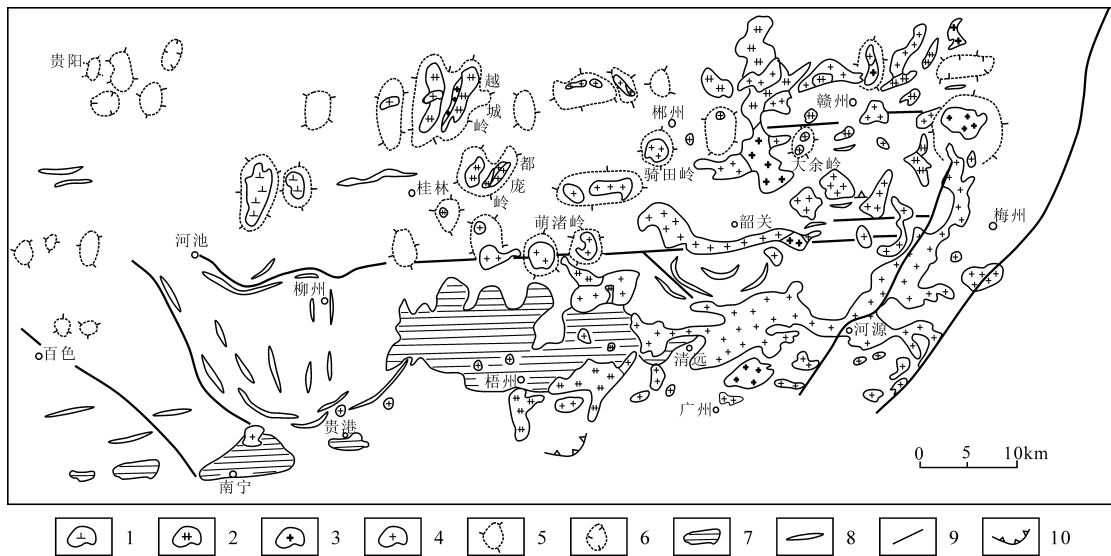


图 6 南岭纬向带构造-花岗岩带简图

Fig. 6 Tectonic-granite belt sketch map of the Nanling zonal belt

1—晋宁期花岗岩;2—加里东期花岗岩;3—印支期花岗岩;4—燕山期花岗岩;5—穹隆构造或短轴背斜;6—短轴向斜;
7—加里东期东西向褶皱隆起区;8—盖层褶皱;9—断裂;10—滑脱构造

1—Jinningian granite; 2—Caledonian granite; 3—Indosinian granite; 4—Yanshanian granite; 5—dome structure or short-axis anticline;
6—short axis syncline; 7—EW-trending fold uplift area of the Caledonian; 8—cover fold; 9—fault; 10—slippage structure

上,进一步研究表明,南岭纬向构造带在印支期曾有褶皱发生,但主要成型于燕山期陆内造山时期,其构造成分除河池-寻乌等东西向断裂带外,以东西向横跨式沉积盖层短轴褶皱带为主要变形样式,与东西向断裂带共同控制了东西向花岗岩带的形成,组成了 4 条重要的构造-花岗岩带(图 6),其东段对中生代火山岩也有控制作用。

(1)越城岭-瑞金构造花岗岩带:位于北纬 26°,由越城岭、阳明山、兴国等近东西向排列的构造穹隆、花岗岩穹隆带、稀疏的东西向断裂和加里东期、印支期、燕山早期 20 多个花岗岩体组成。在凯里—贵阳一带也有呈东西向排列的构造穹隆。

(2)四堡-会昌构造花岗岩带:位于北纬 25°20′,由骑田岭、会昌等近东西向排列的构造穹隆、花岗岩穹隆、近东西向横跨褶皱、部分东西向断裂以及加里东期、印支期、燕山早期花岗岩体组成。

(3)河池-寻乌构造花岗岩带:位于北纬 24°40′,为南岭构造带主轴,是在加里东期河池-寻乌东西向基底断裂带基础上发展起来的,由晚古生代—早中生代地层组成。西段有峨天山一带穹隆和向南弯曲的宜州弧,中段有海洋山、都庞岭、骑田岭、栗木、花山、姑婆山、大瑶山、郴州等 10 多个构造穹隆式构造花岗岩穹隆组成的东西向构造与以燕山早期为主的花岗岩带,东段有东西向断裂及九峰、贵东近东西向

花岗岩基组成的花岗岩带。全带计有花岗岩体 40 余个。

(4)百色-梅州构造花岗岩带:位于北纬 24°,西段百色地区为北西向的右江褶皱带与东西向褶皱的复合地带,形成近东西向横跨褶皱,在来宾地区为李四光厘定的广西山字型构造,以及南宁-贵港加里东期东西向褶皱带,中段为大瑶山加里东期东西向褶皱隆起区,东段由佛冈至梅州为东西向的燕山期花岗岩基带。

还需指出,南岭地区燕山期的花岗岩侵入活动主要受滨太平洋的新华夏系构造与南岭纬向构造带中东段复合,形成南岭花岗岩-成矿区,过桂林—南宁一线,即南岭纬向构造西段,随新华夏系构造衰减,岩浆活动趋弱。

4.3 晚白垩世以来成岭期

燕山期造山后,晚白垩世—古近纪为陆壳伸展断隆成山、断陷成盆时期,南岭在燕山期造山隆升的基础上,成为分隔岭北与岭南断陷盆地群的一条东西向断隆带,并出现隆滑现象。至第四纪,南岭继续缓慢上隆,成为长江与珠江水系的分水岭。

由此可知,南岭是中生代时期新生的一条陆内纬向构造带,其形成时,欧亚大陆板块已经形成,并已漂移至现在的位置,为南岭带的形成提供了前提。其成因属陆内经向挤压力形成的变形带。

5 构造控矿特征

本文主要从以下两方面简略说明华南陆区构造与矿产资源的相关性和约束作用。

5.1 构造体系及其复合控矿的主要特征

华南陆区矿产资源分布主要受新华夏系和扬子反 S 型构造体系控制,南岭纬向构造带在南岭地区具有重要的复合控矿作用。

(1) 扬子反 S 型构造体系构成了华南北部成矿作用的基础构造条件,控制着川东、武陵、长江中下游、江南、钦杭等一系列反 S 状弧形成矿带。处于扬子、华夏板块间的钦杭成矿带(Yang Minggui et al., 1997)拥有一大批超大型、大型矿床,为华南最醒目、最重要的呈反 S 状展布的金属、非金属成矿带(图 7)。

(2) 新华夏系东强西弱,与扬子反 S 型构造体系复合,大致以鄂州—长沙—桂林—凭祥一线为界,划分为成矿特征具有明显差异的扬子、华夏两个成矿

省,后者为燕山期岩浆成矿大爆发区。

(3) 华夏成矿省以新华夏系为主导,复合控制、形成了 3 个重要的成矿区。新华夏系与扬子反 S 型构造体系东部复合形成了下扬子金属、非金属、油气成矿区,包括著名的长江中下游、江南东段、钦杭北段成矿带。其中,在下扬子郧庐-赣江断裂集群复合地带形成了一个巨型金属矿集区(图 8),钨资源量居世界之首,铜、钼、铀、金、银、铁等资源在全国具重要地位。新华夏系的零山-九连山、诸广-云开隆起和钦杭南段与南岭纬向构造带复合,形成了著名于世的南岭钨锡“三稀”多金属成矿区,包括钦杭南段、诸广-云开、零山-九连山 3 条纵向成矿带。新华夏系复合前期构造形成了浙闽成矿区,包括武夷、东南沿海金属、非金属成矿带。

(4) 由于新华夏系构造强烈活动,在华夏成矿省发生了深源岩浆成矿活动。在长江中下游、钦杭拗陷构造带和永(安)梅(州)、阳春、宁(都)于(都)等拗

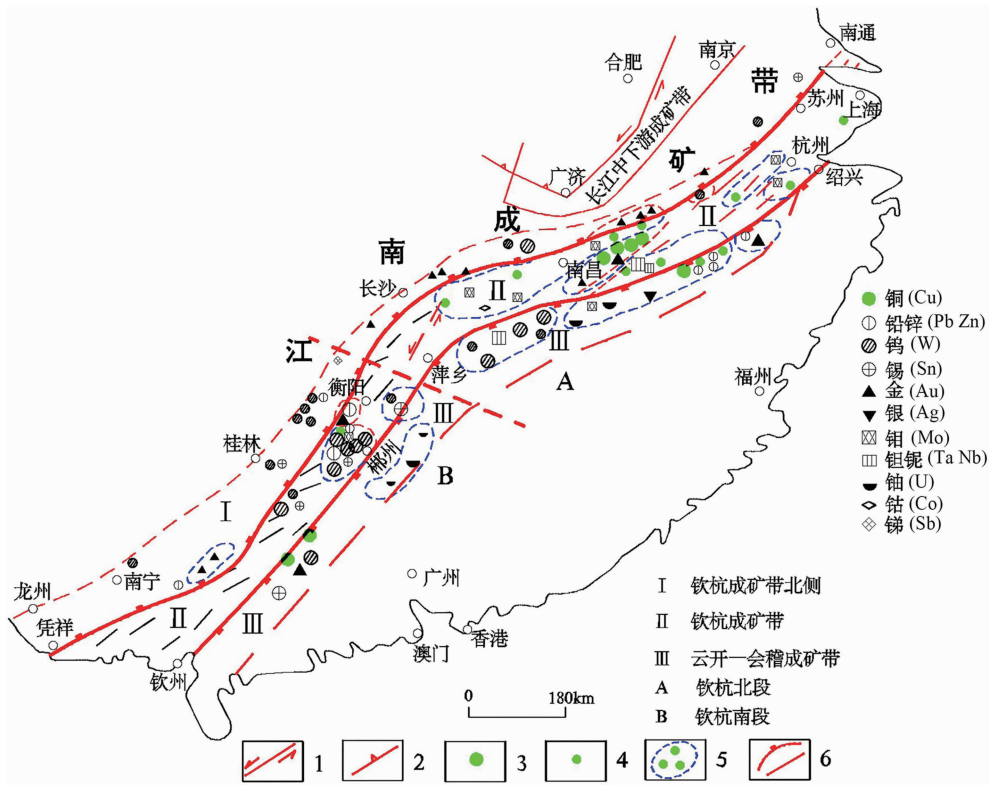


图 7 钦杭成矿带及邻侧地质矿产略图(据杨明桂等,1997 修改)

Fig. 7 Geology and mineral resources sketch of the Qinzhou Bay-Hangzhou Bay juncture and neighbouring area (modified after Yang Minggui et al., 1997)

1—走滑断裂带;2—逆冲推覆断裂带;3—超大型、大型矿床;4—中小型矿床;5—主要矿带或矿田;6—钦杭成矿带分界线断裂与分界线

1—Strike-slip faults; 2—thrust and nappe faults; 3—super large and large mineral deposits; 4—middle and small size deposits;

5—main ore belt or ore field; 6—fault and boundary of the Qinzhou Bay-Hanzhou Bay metallogenic belt; I—north of the Qinzhou Bay-Hanzhou Bay metallogenic belt; II—Qinzhou Bay-Hanzhou Bay metallogenic belt; III—Yunkai-Kuaiji metallogenic belt;

A—north of the Qinzhou Bay-Hanzhou Bay; B—south of the Qinzhou Bay-Hanzhou Bay

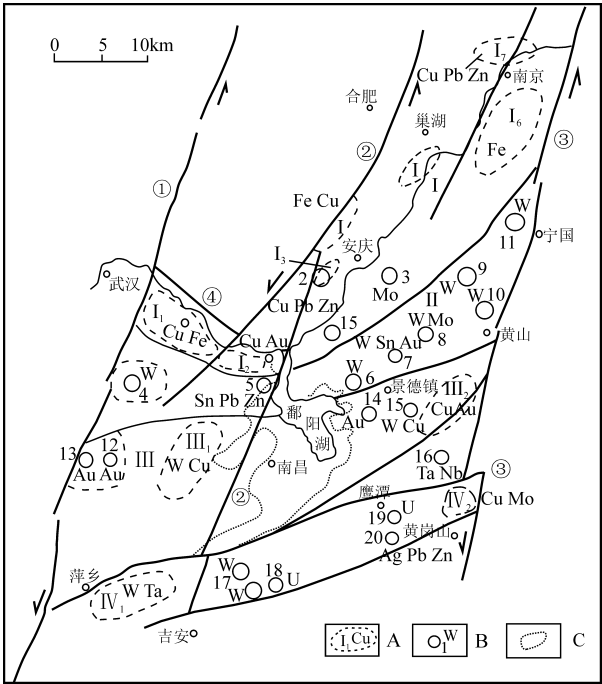


图 8 下扬子巨型内生金属矿集区略图(据杨明桂等, 2016)

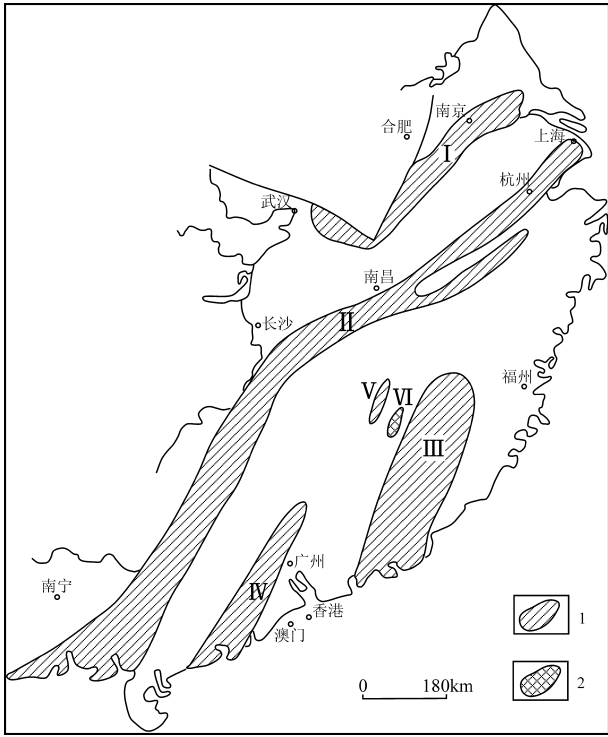


图 9 华夏成矿省燕山期 I 型岩浆-铜矿带(田)分布略图
Fig. 9 Distribution sketch map of the Yanshanian I-type magma-copper ore belt (field) in the

Cathaysian metallogenic province

1—拗陷带 I 型岩浆铜成矿地带; 2—隆起区 I 型岩浆铜矿床产地;
I—长江中下游铜成矿带; II—钦杭铜成矿带; III—永梅铜成矿带;
IV—阳春铜多金属矿集带; V—银杭金银铅锌铜矿田; VI—红山-青龙山铜矿床

1—I-type magmatic copper mineralization zone in depression zone;
2—I-type magmatic copper mineralization zone in uplift area; I—
copper mineralization zone in the Yangtze River; II—copper
mineralization zone in the Qinzhou Bay-Hangzhou Bay; III—second
zone of copper mineralization zone in Yongmei; IV—copper
polymetallic ore concentration zone in the Yangchun; V—gold-
silver-lead-sinc-copper ore field; VI—copper mineral deposit of the
Hongshan-Qinglongshan

(5) 燕山期形成的矿集区、矿田、矿床主要受扬子反 S 型构造体系和新华夏构造体系分级控制, 如鄂东南铜金多金属矿集区主要受新华夏式构造与淮阳弧西翼复合控制(图 10), 世界规模最大的浮梁县朱溪钨铜矿床和德兴铜金矿集区导岩导矿构造分属于钦杭北段的塔前-赋春逆冲推覆深断裂带和赣东北逆冲推覆深断裂带(图 11)。除此, 还有帚状、入字型等矿床构造等。

(6) 燕山期造山后晚白垩世—古近纪伸展断隆成山断陷成盆期形成的一系列北北东、北东向新华夏系山脉与断陷盆地、断隆带以形成花岗岩与火山岩热水淋积铀矿为主, 隆、陷交接断陷带以形成残

Fig. 8 Sketch map of giant endogenous metallic ore concentration area of the lower Yangtze
(after Yang Minggui et al. , 2016)

I—长江中下游成矿带; II—江南中段成矿带; III—钦杭北段成矿带北部; IV—钦杭北段成矿带南部; A—矿集区及主要矿产: I₁—鄂东南; I₂—九瑞; I₃—安贵; I₄—庐枞; I₅—铜陵; I₆—宁芜; I₇—宁镇; III₁—九岭尖; III₂—德兴; IV₁—武功山; IV₂—永平; B—重要矿田或大型超大型矿床与矿种: 1—兆吉口-兆吉岭; 2—怀宁; 3—黄山岭; 4—香炉山; 5—彭山; 6—阳储岭; 7—莲花山; 8—东源; 9—高家坊; 10—磨盘尖; 11—竹溪岭; 12—万古; 13—黄金洞; 14—鹅湖; 15—朱溪; 16—灵山; 17—徐山-焦元; 18—相山; 19—盛源; 20—冷水坑; 断裂带: ①—麻团、湘东; ②—鄱庐、赣江; ③—镇江-黄山、永平-河源; ④—襄广; C—鄱阳盆地中新生界覆盖区

I—Yangtze River metallogenic belt; II—middle part of the Yangtze River metallogenic belt; III—north of the Qinzhou Bay-Hangzhou Bay metallogenic belt of the north section; IV—south of the Qinzhou Bay-Hangzhou Bay metallogenic belt of the north section; A—ore concentration area and main minerals: I₁—southeast Hubei; I₂—Jiujiang-Ruichang; I₃—Angui; I₄—Lujiang-Zongyang; I₅—Tongling; I₆—Ningwu; I₇—Ningzhen; III₁—Jiuling mountain tip; III₂—Dexing; IV₁—Wugong mountain; IV₂—Yongping; B—important ore field or large and super large mineral deposits and mineral species: 1—Zhaojikou-Zhaojiling; 2—Huaining; 3—Huangshanling; 4—Xianglushan; 5—Pengshan; 6—Yangchuling; 7—Lianhua mountain; 8—Dongyuan; 9—Gaojiabang; 10—Mopanjian; 11—Zhuxiling; 12—Wangu; 13—Huangjindong; 14—E' Hu; 15—Zhuxi; 16—Lingshan; 17—Xushan-Jiaoyuan; 18—Xiangshan; 19—Shengyuan; 20—Lengshuikeng; Faults: ①—Matuan, eastern Hunan; ②—Tanlu, Ganjiang; ③—Zhenjiang-Huangshan, Yongping-Heyuan; ④—Xiangguang; C—Mesozoic-Cenozoic covering area in the Poyang basin

陷与深断裂带复合控制了燕山期 I 型中酸性岩浆铜、金、铁多金属成矿系列的展布(图 9)。

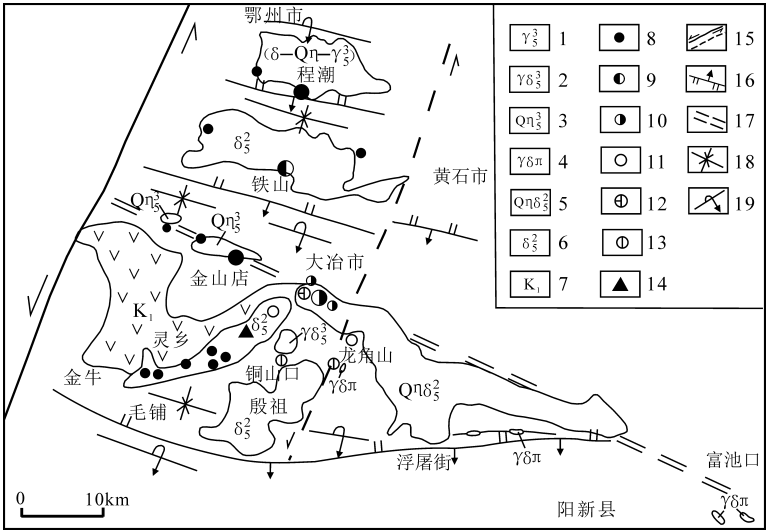


图 10 鄂东南矿集区构造与主要岩浆侵入体及相关矿产分布略图
(据谭忠福等,1988;李均权等,2005 修改)

Fig. 10 Distribution sketch map of tectonic and main magmatic intrusions with related minerals
(modified after Tan Zhongfu et al. , 1988; Li Junquan et al. , 2005)

燕山晚期侵入岩体:1—花岗岩;2—花岗闪长岩;3—石英二长岩;4—花岗闪长斑岩;燕山早期侵入岩体:5—石英二长闪长岩;6—闪长岩;7—早白垩世火山岩;8—铁矿床;9—铁铜矿床;10—铜铁矿床;11—铜矿床;12—金铜矿床;13—铜钼矿床;14—金矿床;15—实测/推测挤压走滑断裂带;16—逆断层;17—深张裂带;18—向斜褶皱;19—倒转褶皱

Intrusive rock of later Yanshanian: 1—granite; 2—granodiorite; 3—quartz monzonite; 4—granodiorite porphyry; Intrusive rock of early Yanshanian: 5—quartz monzodiorite; 6—diorite; 7—Early Cretaceous volcanic rocks; 8—iron ore deposits; 9—iron-copper ore deposits; 10—copper-iron ore deposits; 11—copper ore deposits; 12—gold-copper ore deposits; 13—copper-molybdenum ore deposits; 14—gold ore deposits; 15—compression strike-slip faults of measurement/speculation; 16—reversed fault; 17—deep tension belt; 18—syncline fold; 19—overtaken fold

留气液(水)成因的萤石、重晶石、硅石矿为主,盆地内形成膏盐、油页岩、油气等矿产资源。

5.2 燕山期岩浆成矿大爆发的核幔式扩展模式

中国东部燕山期陆内活化造山引发的岩浆成矿大爆发是举世瞩目的重大地质事件,地质界对其发展演化规律做了大量的研究工作。Yang Minggui et al. (2006)最早发现华南陆区东部燕山期岩浆成矿大爆发具有偏心状核幔式扩展特征。此后进行的有关研究工作和取得的大量同位素测年结果显示,上述特征更加清晰(图 12),其演化经历了以下 3 个时期:

(1)中侏罗世启动期。区内燕山运动始于中侏罗世,启动于钦杭带中段。近期获得的 SHRIMP 和 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄值介于 171~163Ma 之间,I 型斑岩主要分布在德兴铜厂、上饶船坑、广丰铜山、高安村前、上栗志木山一带;具有 I-S 过渡型的花岗质斑岩在浏阳七宝山、常宁水口山、桂阳宝山、铜山岭、黄沙坪一带分布较多;S 型花岗岩主要在钦杭带的九岭南缘古阳寨和瑶岗仙地区有出露。同一时期(169~164Ma),赣南、粤中与闽西南地区

仍处于伸展环境,有 A 形岩浆岩形成,呈现出钦杭中段开始造山、华南南部继续伸展的态势。

(2)晚侏罗世南岭核心区爆发期。这时,钦杭中段继续有 I 型、S 型斑岩活动,如赣东北乐平塔前、铅山永平、粤西封开园珠顶等。大规模的 S 型花岗岩岩浆侵入活动主要在以南岭为中心,西南起自云开大山,东至武夷山脉的北东向椭圆形岩区,面积约 30 万 km²,构成华南 S 型花岗岩区核心,拟称为南岭岩区。除少数为中侏罗世外,同位素年龄值主要集中于 162~145Ma 之间。该期形成大量花岗岩基和大型岩株,以中深成侵位为主,花岗岩主序列为花岗闪长岩(导体)—黑云母二长花岗岩(主体)—正长花岗岩+二(白)云母碱长花岗岩(补体),是钨锡多金属成矿母岩。除此,在深断裂带有 I 型中酸性成矿岩浆岩分布,如吴川-四会矿集带、银坑矿田等。这时,江南与长江中下游进入初动期,有少量花岗岩体形成,成矿微弱。值得注意的是,武夷隆起虽有较多晚侏罗世花岗岩,但成矿很弱,显示造山强度与岩浆成矿流体分异程度偏低,直至早白垩世才进入重要岩浆成矿时期。

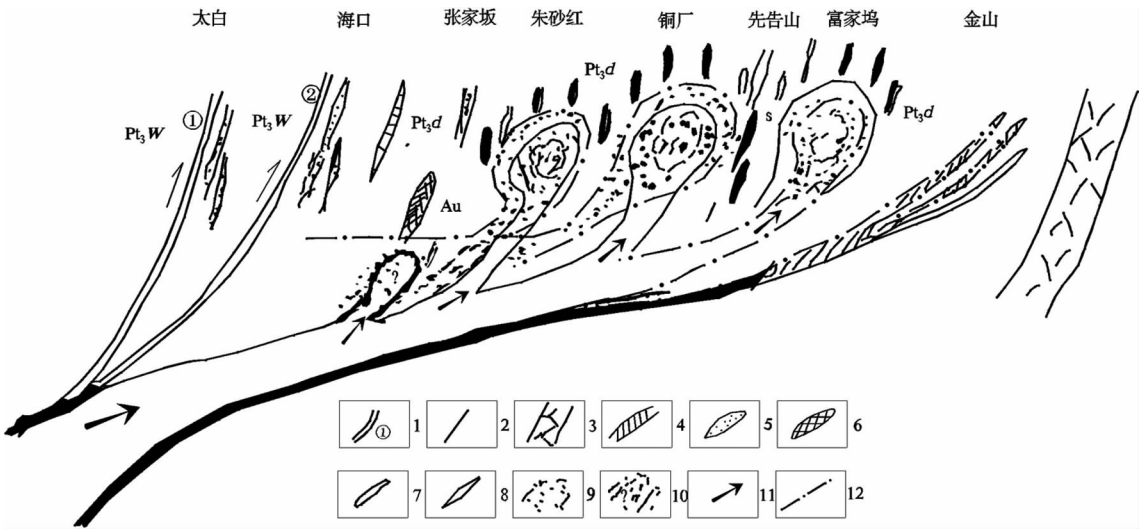


图 11 德兴矿集区晋宁-加里东期动力变质热液金矿床与燕山早期斑岩铜矿床成矿模式图

Fig. 11 Metallogenic model of the Jinning-Caledonian dynamically metamorphic hydrothermal gold deposits and the early Yanshanian porphyry copper deposits in Dexing ore concentration area

1—深断裂带及编号;2—晋宁-加里东期逆冲推覆韧性剪切带;3—赣东北深断裂带南支构造岩片混杂岩带;4—晋宁-加里东期金山式糜棱岩蚀变岩型金矿床;5—加里东期蛤蟆石式千糜岩石英脉蚀变岩型金矿床;6—花岗闪长斑岩金矿床;7—硫铁矿脉;8—铜铅锌矿脉;9—铜厂式斑岩型铜(金钼)矿体;10—预测斑岩型铜金矿床;11—燕山早期岩浆与成矿流体运动方向;12—勘查工作底界;Pt₃W—新元古代万年群;Pt₃d—新元古代德兴蛇绿岩片

1—Deep faults and its number; 2—thrust and nappe ductile shears belt of the Jinning-Caledonian; 3—structural slice melange belt of deep faults southern branch in the northeast Jiangxi; 4—Jinshan-type mylonite and altered rock type gold deposits of the Jinning-Caledonian; 5—toadstone-type phyllonite and quartz vein altered rock type gold deposits of the Caledonian; 6—gold deposits of granodiorite porphyry; 7—pyrite veins; 8—copper-lead-zinc veins; 9—Tongchang-type porphyry copper (gold-molybdenum) orebody; 10—prediction porphyry copper-gold deposits; 11—magma and mineralization fluid movement direction of the early Yanshanian; 12—bottom line of exploration; Pt₃W—Wannian Group of the Neoproterozoic; Pt₃d—ophiolite slices of the Neoproterozoic in Dexing

(3)早白垩世大规模扩展期。该期岩浆成矿活动由钦杭中段和南岭地区向外大规模扩展,发生以中浅成为主的岩浆侵入和火山喷发。早白垩世时中浅成花岗质岩浆侵入活动围绕“南岭”与钦杭中段核心花岗岩区向外侧扩展。在早白垩世早中期约 146~135Ma 间,形成了闽粤沿海成钨锡的 S 型花岗岩带,武夷、江南东段以 S 型为主的与钨锡钽铌成矿有关的花岗岩带,以及长江中下游 I 型中酸性成铜岩带及闽粤沿海岩带。其中,江南东段九岭尖矿集区与莲花山矿田钨锡矿床成矿花岗岩与成矿年龄主要在 146~136Ma 间。江南西段及雪峰山区燕山期花岗岩体稀少。根据 Geological Survey of Hunan Province(2017)和 Wang Denghong et al. (2014)资料,花岗岩及成矿年龄大约在晚侏罗世晚期至早白垩世,多出现在 146~111Ma 之间。在桂东、粤西地区,燕山期花岗岩时代自东而西,即南岭核心区向西和钦杭中段外侧,由晚侏罗世(花山—姑婆山、云开一带)渐变为早白垩世中晚期,如湘南界牌岭含锡多金属花岗斑岩、桂东珊瑚成钨花岗岩与成矿年龄、王社铜钨成矿年龄、昆仑关花岗岩、贵港龙头山金矿花

岗斑岩、大明山钨矿成矿年龄、大黎与铜钼成矿有关的石英二长岩年龄集中在 106~85Ma,是该区重要成矿时期(Lu Youyue et al., 2016),但岩浆成矿活动与南岭核心区相比,显然趋弱。

燕山期火山活动具有阶段性和穿时性。根据近期区内取得的大量锆石 U-Pb 年龄值,可以得出其活动的总趋势,即火山活动发生于燕山期大规模花岗质岩浆侵入之后,始自早白垩世早中期,即燕山运动晚期。火山活动围绕侵入稍早的岩浆活动区向沿海方向发展,根据其时空演化可进一步分为长江中下游、苏浙闽(北)沿海、武夷-闽(南)粤(东)沿海、桂东粤西等 4 个区带。发展演化阶段上大致可分为早白垩世早期(145~130Ma)、早白垩世中期(130~120Ma)、早白垩世晚期(120~95Ma),局部可延至晚白垩世(浙江小雄组火山岩及桂东粤西地区)。燕山晚期火山活动总体上始自武夷-闽(南)粤(东)区,其次为苏浙闽(北)区和长江中下游区,最后为桂东粤西沿海岩带,即在时空上于燕山期花岗质岩侵入之后影随侵入岩核幔式扩展向沿海方向发展,东南火山岩带由陆内的长江中下游构造

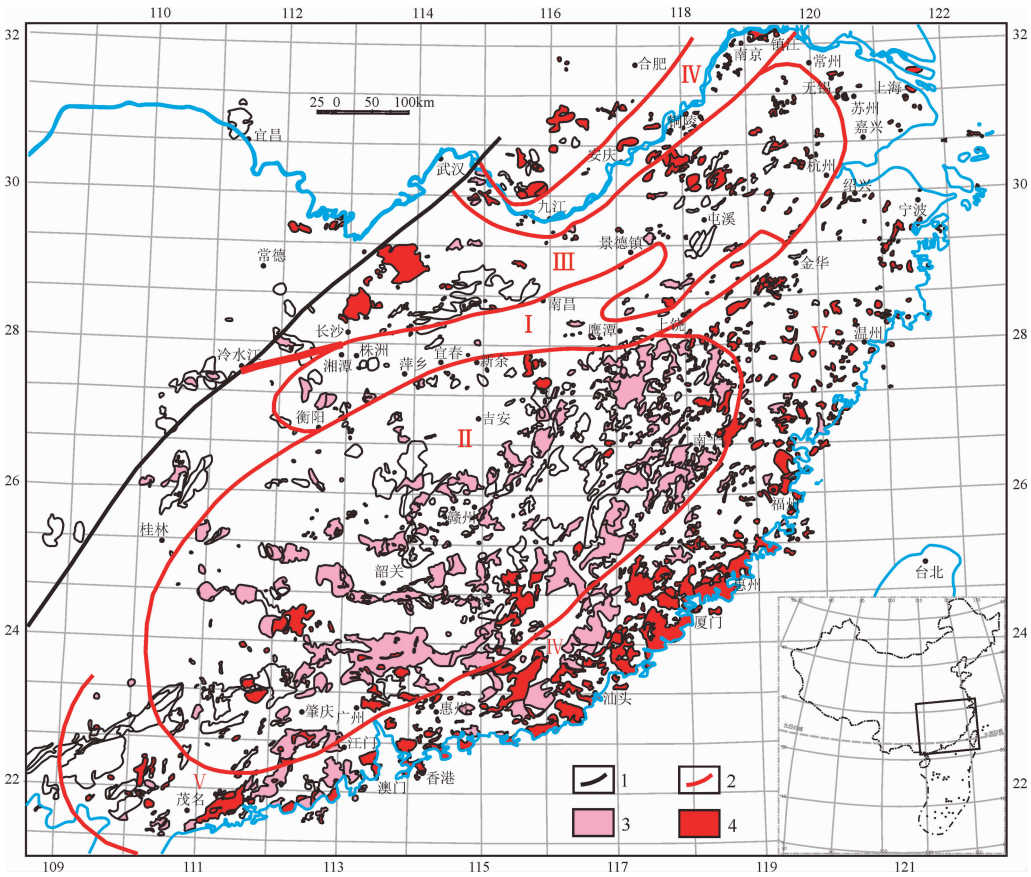


图 12 华南大陆燕山期花岗岩核幔式分带扩展简图

Fig. 12 Zoning and extension sketch map of the Yanshanian granite core-mantle type in South China continent

1—燕山期花岗岩区西界;2—次级岩区界线;3—燕山早期花岗岩;4—燕山晚期花岗岩; I—燕山早期钦杭中段中晚侏罗世 I 型斑岩、S 型花岗岩带; II—南岭燕山早期晚侏罗世 S 型花岗岩核心成岩区; III—江南燕山晚期 S 型花岗岩为主岩带; IV—长江中下游燕山晚期早白垩世 I (A) 型花岗岩带; V—燕山晚期早白垩世 S(A) 型花岗岩扩展分布岩区

1—Western boundary of the Yanshanian granite area; 2—boundary of secondary rock area; 3—granite of the early Yanshanian; 4—granite of the late Yanshanian; I—I-type porphyry and S-type granite belts of the early Yanshanian middle to late Jurassic in middle of Qinzhou Bay-Hangzhou Bay; II—S-type granite of the early Yanshanian late Jurassic in Nanling is core diagenetic zone; III—S-type granite of the late Yanshanian in Jiangnan is the main rock zone; IV—I or A type granite belt of the late Yanshanian early Cretaceous in the Yangtze River; V—extensive distribution rock area of S or A type granite of the late Yanshanian early Cretaceous

带、钦杭结合带、九连山-安远断裂带向沿海方向发展。

以上以南岭爆发区为核,以扩展区为幔的岩浆成矿大爆发,其扩展轴受滨太平洋构造约束,总体呈北北东向。由于华南大陆东南部为临海自由面,这种核幔式演化呈向东的偏心状态,大规模的 S 型花岗岩岩浆侵位呈现由早到晚、由中深成到中浅成向火山-潜火山的演化规律。南岭地区既是造山运动核心区也是成矿大爆炸的爆心区,成岩成矿时代主要为晚侏罗世,岩浆热液成矿以中深成为主,以形成“五层楼”式石英脉型钨矿床和接触交代型钨矿床为特征。武夷、江南、南岭地区成岩成矿时代主要为早白垩世,早中期岩浆成矿以中浅成为主,在岩浆侵入晚次出现花岗斑岩与隐爆岩筒,偶见晶洞

花岗岩,成矿以大型的蚀变花岗岩型钨钼铌矿床为特征,“五层楼”式石英脉型钨矿床较少发育。沿海地带以早白垩世中晚期火山-潜火山为主,成矿以潜火山斑岩为特征,成岩成矿爆发历时长达 70Ma,面积约 100 余万平方千米,形成了巨量的金属、非金属矿床,为全球罕见的重大成矿事件和独特的发展演化模式。

上述模式表明,陆壳脆弱地区是活化造山的重要策源地。钦杭带中段与郯庐-赣江断裂集群复合地带最早启动成岩成矿。南岭地区处于扬子-加里东期南华裂谷中心海盆,燕山期时新华夏系北北东向构造与南岭东西向构造、右江北西向构造在这里复合汇聚形成构造结,成了岩浆成矿大爆发的爆心区。

6 华南燕山运动以来的大陆动力学特征

6.1 燕山运动的动力学特征

华南燕山运动迄今已有古太平洋板块俯冲的多种模式,得到了广泛流传,但根据区内燕山期的构造体系与成岩成矿特征,得出的认识则正如李四光(1973)根据构造体系研究、模拟所指出的,是以大陆向南大洋相向近南北向左行扭动作用为主导,并具有多向汇聚、多因复合的动力学特征。

新华夏构造体系一系列北北东向隆起带、拗陷带、褶皱带和巨大的北北东、北东向左行挤压走滑断裂群与其相伴的一套断裂组合,以及扬子反 S 型扭动构造体系的大规模扩展增生都反映燕山运动的发生,主要是欧亚板块与古太平洋板块强烈左行扭动所致。同时,亦有古太平洋板块向东亚陆缘俯冲,包括来自台湾玉里带的大洋俯冲作用,使陆内受到纬向挤压。日本学者 Maruyama et al. (1997)编制的西太平洋板块系列复位图(图 13)展示了侏罗纪晚期(150Ma)依佐奈岐板块向北运动与俯冲,这与东亚陆区的研究结果主要是新华夏构造体系的动力学特征有吻合之处。这时,欧亚大陆已联为一体,受地球自转形成的经向挤压与东亚陆区相对扭动南移,使天山-阴山、昆仑-秦岭纬向带又一次受到挤压,并略向南弯曲,南岭纬向带发展定型,并有淮阳等弧形构造出现,扬子反 S 型构造也可能受到了华北、四川、华夏等板块压缩,同时,印支地块自南西向华南陆区西部挤压,形成了右江北西向构造带。

华南东部燕山期岩浆成矿大爆发出现的核幔式扩展规律呈现出上述陆洋板块相对左行扭动,并与大规模花岗质岩浆侵入活动在上地壳产出的蠕散作

用复合联合的动力学特征(图 14)。值得提出的是,在陆壳硬化程度较高、岩浆活动规模巨大的条件下,这种内动力蠕散效应愈加显著,由入侵顶托到地壳扩张热胀、蠕散呈现多序次动力转变(图 15)。

岩浆成矿活动在呈核幔式扩展的同时,导致岩浆成矿环境由深中成、中浅成—火山潜火山,在时空上作规律性变化,包括主要成矿类型的差异。

6.2 喜马拉雅期的动力学特征

晚白垩世—古近纪,华南进入燕山期造山后的喜马拉雅构造旋回伸展期。新华夏构造体系转化为拉张,形成一系列以北北东为主体的断隆山地与断陷盆地。古近纪渐新世末,由于印度板块向青藏地区俯冲,地壳向东伸展,与太平洋板块向台东俯冲作用相对挤压,发生了四川运动,陆内地壳隆升,结束了陆盆沉积。新近纪时,青藏高原继续隆升,菲律宾海板块扩张,向台东仰冲,华南大陆处于新的“双向挤压”状态,地壳均衡抬升,形成高地。第四纪时,菲律宾海板块扩张增强,华南东部形成北西西—南东东向为主的地应力场,陆壳发生弱造山,导致新华夏构造体系再次活动,出现不均衡的隆升与沉降,在前期构造的背景上,隆成山、拗成丘、盆成原,部分北北东、北东向断裂带成为成泉、导热、发震断裂带。同时,板内继续存在经向挤压,大别山、南岭继续隆起,成为黄河、长江、珠江的分水岭。

7 结语

(1)通过华南陆区板块构造与构造体系融合研究,揭示了板块活动与构造体系长期发展、复合、演化历史过程,并把我国构造体系研究推进到中—新元古代。

(2)扬子反 S 构造体系是区内最重要的、长期发

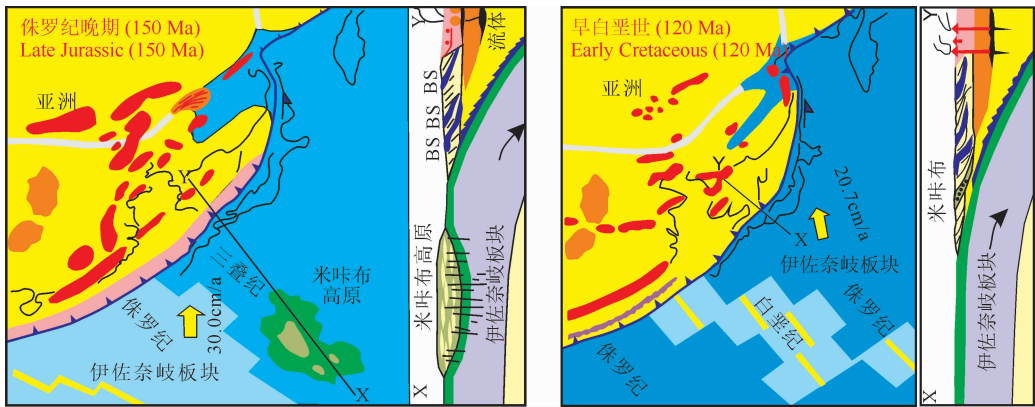


图 13 西太平洋板块侏罗纪—早白垩世构造复原图(据 Maruyama, 1997)

Fig. 13 Tectonic restoration map of the western Pacific plate from Jurassic to early Cretaceous (after Maruyama, 1997)

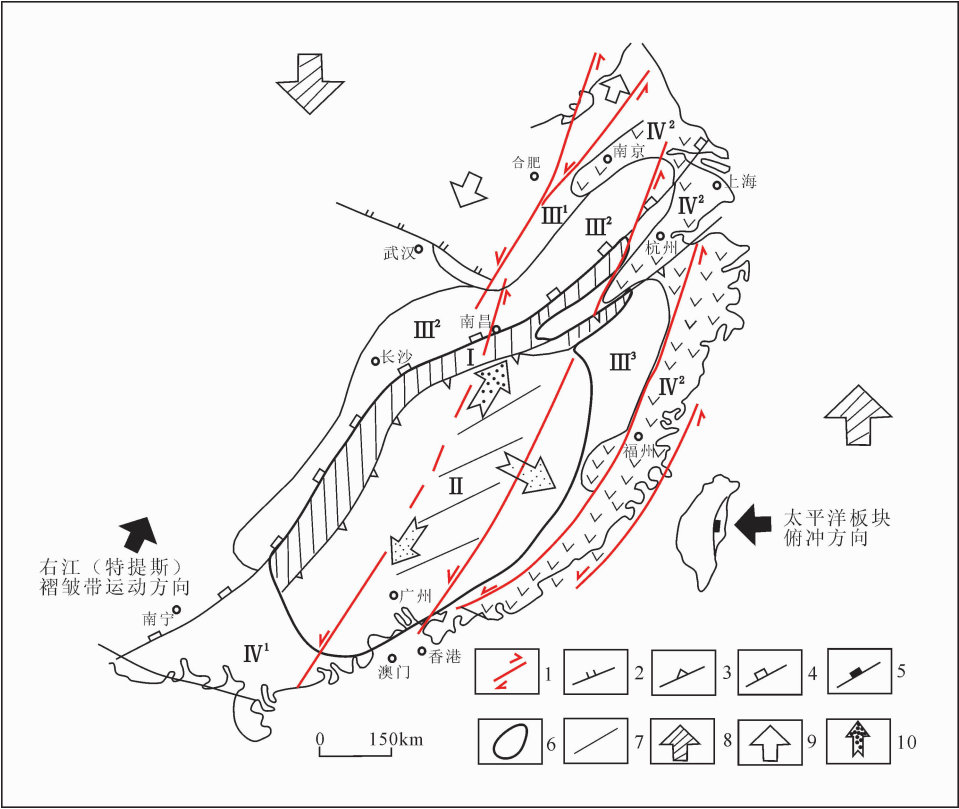


图 14 华夏成矿省燕山期核幔扩展模式与动力作用略图

Fig. 14 The Yanshanian core-mantle-style expansion model and dynamic effect sketch in the Cathaysian metallogenic province

1—挤压走滑断裂带;2—逆冲推覆断裂带;3—加里东期地壳叠接断裂带;4—晋宁期板块对接带;5—燕山期(玉里)板块俯冲带;6—核心区界线;7—扩展区分带界线;8—欧亚板块与古太平洋板块构造扭动方向;9—地块构造作用方向;10—上地壳蠕散作用方向;Ⅰ—钦杭中段中晚侏罗世构造岩浆成矿作用碰撞地带;Ⅱ—诸广-南岭晚侏罗世构造岩浆成矿作用核心区;Ⅲ¹—长江中下游早白垩世早中期构造岩浆成矿作用早扩展区;Ⅲ²—江南早白垩世早中期构造岩浆成矿作用早扩展区;Ⅲ³—武夷早白垩世早中期构造岩浆成矿作用早扩展区;Ⅳ¹—桂东早白垩世中晚期构造岩浆成矿作用中晚扩展区;Ⅳ²—沿海早白垩世中晚期构造火山侵入杂岩成矿作用中晚扩展区

1—Extrusion and strike-slip faults; 2—thrust and nappe faults; 3—crust overlapping and junction faults of the Caledonian; 4—plate junction belts of the Jinningian; 5—(Yuli) plate subduction zone of the Yanshanian; 6—core boundary; 7—zone boundary of extension; 8—tectonic twisting direction of the Eurasian plate and paleo-Pacific plate; 9—tectonic effect direction of mass; 10—vermicular dispersion direction of the upper crustal; Ⅰ—tectonic and magmatic mineralization collision zone of the middle to late Jurassic in the middle of Qinzhou Bay-Hanzhou Bay; Ⅱ—tectonic and magmatic mineralization core area of the late Jurassic in Zhuguang-Nanling; Ⅲ¹—tectonic and magmatic mineralization early extended area during the early-middle stage of the early Cretaceous in the Yangtze River; Ⅲ²—tectonic and magmatic mineralization early extended area during the early-middle stage of the early Cretaceous in south of the Yangtze River; Ⅲ³—tectonic and magmatic mineralization early extended area during the early-middle stage of the early Cretaceous in Wuyi; Ⅳ¹—tectonic and magmatic mineralization middle-late extended area during the middle-late stage of the early Cretaceous in east Guangxi; Ⅳ²—tectonic-volcanic intrusive complex mineralization middle-late extended area during the middle-late stage of the early Cretaceous along the coast

展演化的构造体系,莫基于晋宁期华南洋消亡,扬子、华夏板块碰撞,南部于扬子-加里东期遭到南华裂谷海盆破坏,加里东期造山时南缘增生,燕山期大规模增生定型。新华夏构造体系为燕山期欧亚板块与古太平洋板块相互作用形成的扭动构造,成为滨太平洋构造域主体构造。燕山期造山后发生伸展,新近纪后处于弱挤压状态。南岭纬向带于燕山期在前期东西向构造片断的基础上,发展定型,为陆内变形带。除此,有右江北西西构造带和散漫的南北向构造。

(3)以新华夏系、扬子反 S 构造体系为主,分级

控制着区内成矿区带、矿田(床)。南岭纬向带在华南南部起着重要的复合控矿作用。燕山期岩浆成矿大爆发在区内陆壳结构构造与板块活动及蠕散作用下,呈现燕山早期以钦杭中段与南岭地区为核心,燕山晚期向外侧扩展,岩浆成矿由中深成、中浅成向火山潜火山演变的核幔式扩展模式,在全球具有独特意义。

(4)根据区内构造体系与岩浆成矿特征,推导燕山期时欧亚板块与古太平洋板块之间以强烈的近南北向左行扭动为主,兼有古太平洋板块的俯冲挤压,相伴出现陆内由北向南的经向挤压。由于陆壳硬化

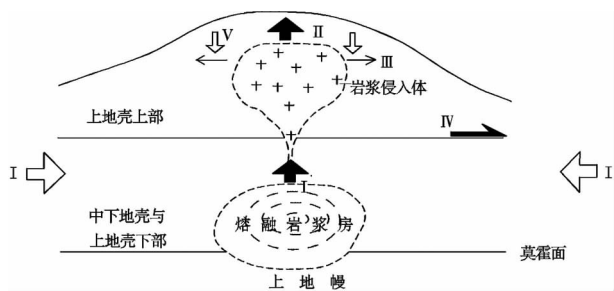


图 15 燕山期陆内活化造山热动力过程模式

Fig. 15 The thermal effect mode of the Yanshanian intracontinental orogenesis

I—第一序次动力方向; II—第二序次动力方向; III—第三序次动力方向; IV—上地壳扩容逃逸方向; V—第四序次动力方向
I—Dynamic direction of the first; II—dynamic direction of the second; III—dynamic direction of the third; IV—expansion and escape direction of the upper crust; V—dynamic direction of the fourth

程度较高,随着大规模花岗质岩浆上侵,上地壳蠕散作用是一个重要的动力因素。燕山期陆内造山总体上具有强扭动、弱俯冲、多向汇聚、多因复合的动力学特征。

本文不足之处是因涉及问题广,对区内构造演化、构造体系的论述不够详细,且未论及构造与沉积、变质矿产以及地质生态环境的关系。这些在正在出版的《华夏成矿省华南洋-滨太平洋构造演化与成矿作用》一书中有较详细论述。

致谢:中国工程院赵文津院士、南京大学舒良树教授、南京地质调查中心邢光福总工程师对本文提供了宝贵的修改补充意见,英文摘要由江西省地质学会龙梅梅女士翻译,谨表感谢!

References

Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development of Jiangxi Province. 2017. Regional Geology of China, Jiangxi Province. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese with English abstract).
Geological Survey of Hunan Province. 2017. Regional Geology of China, Hunan Province. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese with English abstract).
Li Junquan, Tan Junming, Li Jiangzhou, et al. 2005. Metallogenic Series of Ore Deposits, Hubei Province. Wuhan: Hubei Science & Technology Press (in Chinese with English abstract).
Li Siguang. 1926. The fundamental cause of evolution of the Earth's surface features. Acta Geologica Sinica, 5(3/4): 209~262.
Li Siguang. 1942. Where is Nanling. Geological Review, 7: 253~266 (in Chinese with English abstract).
Li Siguang. 1973. Introduction to Geomechanics. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese).
Li Xianhua, Zhou Guoqing, Zhao Jianxin, Fanning C M, Compston W. 1994. SHRIMP ion microprobe zircon U-Pb age of the NE Jiangxi ophiolite and its tectonic implications. Geochimica, 23(2): 125~131 (in Chinese with English abstract).
Lu Youyue, Fu Jianming, Cheng Shunbo, Ma Liyan, Huang

Zhenbiao, Bi Yiqin. 2016. Ore-forming age of the Shanhu tungsten-tin deposit in Guangxi Province and its geological significance. Geotectonica et Metallogenia, 5: 939~949 (in Chinese with English abstract).
Maruyama S, Isozaki Y, Kimur G. 1997. Paleogeographic map of the Japanese Islands: Plate tectonic synthesis from 750 Ma to the present. The Island Arc, 6:121~142.
Shu Liangshu, Zhou Guoqing, Shi Yangshen, Yin Jun. 1994. Study of the high pressure metamorphic blueschist and its late proterozoic age in the eastern jiangnan belt. Chinese Science Bulletin, 39(14): 1200~1204 (in Chinese with English abstract).
Shu Liangshu, Wang Jingqiang, Yao Jinlong. 2019. Tectonic evolution of the eastern Jiangnan region, South China: new findings and implications on the assembly of the Rodinia supercontinent. Precambrian Research, 322:42~65.
Sun Dianqing, Gao Qinghua. 1982. Geomechanics and Crustal Movement. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese with English abstract).
Tan Zhongfu, Zhang Qifu, Yuan Zhengxin, et al. 1988. Neocathaysian Structural System in East China. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1~15 (in Chinese with English abstract).
Wang Denghong, Li Huaqin, Qu Wenjun, et al. 2014. Chronological Pedigree of Diagenesis and Mineralization in China. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese with English abstract).
Wilson J T. 1965. A new class of faults and their bearing on continental drift. Nature, 207:343~347.
Xiong Chengyun, et al., Nanling Project Construction Thematic Group. 1988. Rock-controlling and Ore-controlling Structures Research of Regional Structural Characteristics in Nanling Mountains. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese with English abstract).
Yang Minggui, Lu Dekui. 1981. Structural Characteristics and Arrangement and Combination Forms of Vein Tungsten Deposits in Xihuashan-Piantang Area. Papers of the Symposium on Tungsten Mine Geology. Beijing: Geological Publishing House, 197~206 (in Chinese with English abstract).
Yang Minggui, Mei Yongwen. 1997. Characteristics of geology and metatllization in the Qingzhou-Hangzhou paleoplate juncture. Geology and Mineral Resources of South China,(3):52~59 (in Chinese with English abstract).
Yang Minggui, Zeng Yong. 2006. On Several Regional Geological Issues in the South-East China. "Six Provinces and One City" Geosciences Forum at 2006 in the East China. Nanchang: Jiangxi Science & Technology Press, 1~7 (in Chinese with English abstract).
Yang Minggui, Zhu Pingjun, Xiong Qinghua, Mao Subin. 2012. Framework and evolution of the Neoproterozoic-Early Paleozoic South-China rift system. Acta Geologica Sinica, 86(9):1367~1375(in Chinese with English abstract).
Yang Mingui, Wu Fujiang, Song Zhirui, Lu Shaojun. 2015. North Jiangxi: A geological window of South China. Acta Geologica Sinica, 89(2): 222~233(in Chinese with English abstract).
Yang Minggui, Xu Meigui, Hu Qinghua, Wang Guanghui, Zhu Pingjun. 2016. The structural composite metallogenic characteristics of Hubei-Anhui-Jiangxi giant ore concentration area. Earth Science Frontiers, 23(4)129~136 (in Chinese with English abstract).
Zhang Yueqiao, Dong Shuwen, Li Jianhua, Shi Wei. 2011. Mesozoic multi-directional compressional tectonics and formation-reformation of Sichuan basin. Geology in China, 38(2):233~250 (in Chinese with English abstract).

参 考 文 献

江西省地质矿产勘查开发局. 2017. 中国区域地质志·江西志. 北京:地质出版社.

湖南省地质调查研究院. 2017. 中国区域地质志·湖南志. 北京:地质出版社.

李均权, 谭俊明, 李江洲, 等. 2005. 湖北省矿床成矿系列. 武汉:湖北科学技术出版社.

李四光. 1926. 地球表面形象变迁主因. 中国地质学会志, 5(3/4): 209~262 (in English).

李四光. 1929. 东亚一些典型构造型式及其对大陆运动问题的意义. 原以英文发表于英国《地质杂志》第 66 卷, 782、783、784、785 期.

李四光. 1942. 南岭何在. 地质论评, 7(6): 253~266.

李四光. 1973. 地质力学概论. 北京:地质出版社.

李献华, 周国庆, 赵建新. 1994. 赣东北蛇绿岩的离子探针锆石 U-Pb 年龄及其构造意义. 地球化学, 23(2): 125~131.

卢友月, 付建明, 程顺波, 马丽艳, 黄振标, 闭义钦. 2016. 广西珊瑚钨锡矿床成矿年代学研究及其地质意义. 大地构造与成矿学, 5: 939~949.

舒良树, 周国庆, 施央申, 殷俊. 1993. 江南造山带东段高压变质蓝片岩及其地质时代研究. 科学通报, 38(20): 1879~1879.

孙殿卿, 高庆华. 1982. 地质力学与地壳运动. 北京:地质出版社, 48~195.

谭忠福, 张启富, 袁正新, 等. 1988. 中国东部新华夏系. 武汉:中国地

质大学出版社, 1~15.

熊成云等, 南岭项目构造专题组. 1988. 南岭区域构造特征控岩、控矿构造研究. 北京:地质出版社.

王登红, 李华芹, 屈文俊, 等. 2014. 全国成岩成矿年代谱系. 北京:地质出版社.

杨明桂, 卢德揆. 1981. 西华山—漂塘地区脉状钨矿的构造特征与排列组合形式. 见: 钨矿地质讨论会论文集. 北京:地质出版社, 197~206.

杨明桂, 梅勇文. 1997. 钦—杭古板块结合带与成矿带的主要特征. 华南地质与矿产, (3): 52~59.

杨明桂, 曾勇. 2006. 中国东南部几个区域地质问题. 2006 年华东“六省一市”地球科学论坛. 南昌: 江西科学技术出版社, 1~7.

杨明桂, 祝平俊, 熊清华, 毛素斌. 2012. 新元古代—早古生代华南裂谷系的格局及其演化. 地质学报, 86(9): 1367~1376.

杨明桂, 吴富江, 宋志瑞, 吕少俊. 2015. 赣北: 华南地质之窗. 地质学报, 89(2): 222~233.

杨明桂, 徐梅桂, 胡青华, 等. 2016. 鄂皖赣巨型矿集区的构造复合成矿特征. 地学前缘, 23(4): 129~136.

张岳桥, 董树文, 李建华, 施炜. 2011. 中生代多向挤压构造作用与四川盆地的形成和改造. 中国地质, 38(2): 234~247.

Formation and evolution of the plate activity and the structural system in the South China continental region

YANG Minggui*, WANG Guanghui

Jiangxi Bureau of Exploration & Development for Geology and Mineral Resources, Nanchang, 330002

* Corresponding author: jxjudkc@126.com

Abstract

Through the integrated study on the Plate activity and the structural system in the South China continental region since Meso-Neoproterozoic, this paper deals with the genetic relation between the structural system and the Plate activity in aspects of deformation features of the structural system, evolution history and formation mechanism. Therefore, the multi-system composite structural framework dominated by the Yangtze inverse s-type structural system, Neocathaysian structural system and Nanling latitudinal belt has been proposed. Among them, the newly-cognized the Yangtze inverse s-type structural system is the major structure of the Yangtze Plate. It originally belonged to the Cathaysian structural system, was established by Neoproterozoic continental collision between the Yangtze Plate and the Cathaysian Plate, and completed during the Yanshanian intracontinental orogeny. Meanwhile, the Neocathaysian structural system belongs to the major structure in the marginal west-Pacific and includes genetically related NE-Cathaysian and NNE Neocathaysian, with the genetic relation, both of them underwent the evolution processes of the Yanshanian compressional shear assembly, post-orogenic extension and the weak compressional since the Quaternary period. The well-known Nanling latitudinal zone mainly formed as a result of the Yanshanian meridional compression is characterized by the EW-trending superimposed fold-granite belt, and continues until now. Finally, this paper also describes the major structural system metallogenetic belts within the composite controlling district, the characteristics of the grading stepping controlling ore concentration districts, ore fields and deposits, as well as the core-mantle-style expansion model for magmatic metallogenic explosion of the Yanshanian. It is concluded that the Yanshanian intracontinental activation orogenesis within the region shew, the multi-direction convergent and the multi-factor recombination dynamic features predominated by the nearly SN-trending sinistral shear between the Eurasian Plate and the Pacific Plate.

Key words: South China; structural system; Plate activity; resources environment; dynamics