

# 中国东南陆区岩石圈结构与大规模成矿作用

杨明桂<sup>1</sup> 黄水保<sup>1</sup> 楼法生<sup>2</sup> 唐维新<sup>1</sup> 毛素斌<sup>1</sup>

(1. 江西省地质矿产勘查开发局, 江西 南昌 330002; 2. 江西省地质调查研究院, 江西 南昌 330002)

**摘要:**本文以区域地质、矿产地质为基础,与地球物理和岩石圈深部地质的研究成果相结合,对中国东南陆区的地块、造山带、古板块结合带、隆起带、拗陷带和断陷盆地的地壳厚度变化与物质结构、莫霍面形态、岩石圈地幔的厚度变化与结构进行了研究与构造区划。论述了燕山期陆内造山与喜马拉雅期大陆伸展及其导致的岩石圈物质结构调整作用,建立了隆拗构造分异与壳幔物质结构调整模式,探讨了本区地壳减薄的深部地质过程,分析了燕山期陆内造山的动力机制以及大规模成矿作用与岩石圈物质结构构造的相关关系。

**关键词:**岩石圈;物质结构;陆内造山;大陆伸展;成矿作用

**中图分类号:** P544, P612

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1000-3657(2009)03-0528-16

笔者所指的中国东南陆区范围北起长江中下游地区,西自雪峰山脉,东南至沿海地带。该区区域地质、矿产地质与地球物理、地球化学调查研究程度较高,且已完成地学断面 3 条,爆破地震测深剖面 10 条。近期李廷栋<sup>[1]</sup>、朱介寿<sup>[2]</sup>、肖庆辉<sup>[3]</sup>、袁学诚<sup>[4]</sup>等对中国大陆岩石圈三维结构进行了比较全面系统的研究,使中国岩石圈物质结构研究到了一个新的高度。由于东南陆区地质结构十分复杂,不少问题还有待进一步研究深化,该区有迹象显示,燕山陆内造山形成的隆起、拗陷构造与岩石圈结构以及大规模成矿作用存在着一定的成生联系。由此笔者试图从区域地质与矿产地质的视角,通过学习应用已有的地球物理与岩石圈的研究成果,对区内岩石圈地质结构构造及其与成矿关系问题作一些探讨。

## 1 地壳浅部地质构造特征

中国东南陆区按元古宙—早古生代变质基底构造和中新生代构造两个层次,将其构造单元分别划分如图 1、图 2。

### 1.1 元古宙—早古生代变质基底构造

新元古代早期之末(约 825 Ma)的晋宁造山运

动时期,扬子、华夏古板块发生碰撞对接,使扬子陆块基本固结。南华纪初,扬子、华夏联合古大陆裂解,形成了华南裂谷系。至志留纪加里东运动时期,华南裂谷海盆封闭造山,并与扬子陆块拼接,形成了扬子陆块、华南造山系和华夏陆块的古构造格局(图 1)。

#### 1.1.1 中下扬子地块

中下扬子地块西接上扬子地块,西北部于燕山期遭到大别地块仰冲消减叠覆,东部于新生代时沉于黄海、东海,东南部加里东期受到华南造山系的大面积仰冲叠覆,因此,它基本上是一个残体。中下扬子地块大致以团风、萍乡为界可划分为中、下扬子两个块体。

地块基底具双层结构。结晶基底以庐山东麓出露于变质核杂岩核部的星子岩群为代表,为一套角闪岩相的深变质岩,锆石 U-Pb 年龄值(1869±40) Ma<sup>[5]</sup>。组成褶皱基底浅变质岩系在江南隆起带出露较广,厚度巨大。江南北部主要为一套泥砂质细碎屑岩,以双桥山群为代表,江南南部地层含海相火山物质增多,以溪口群为代表,这套地层时代原归于中元古界,现根据其中上部新近取得的一批 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄值<sup>[6]</sup>,加上不整合覆盖其上的南华

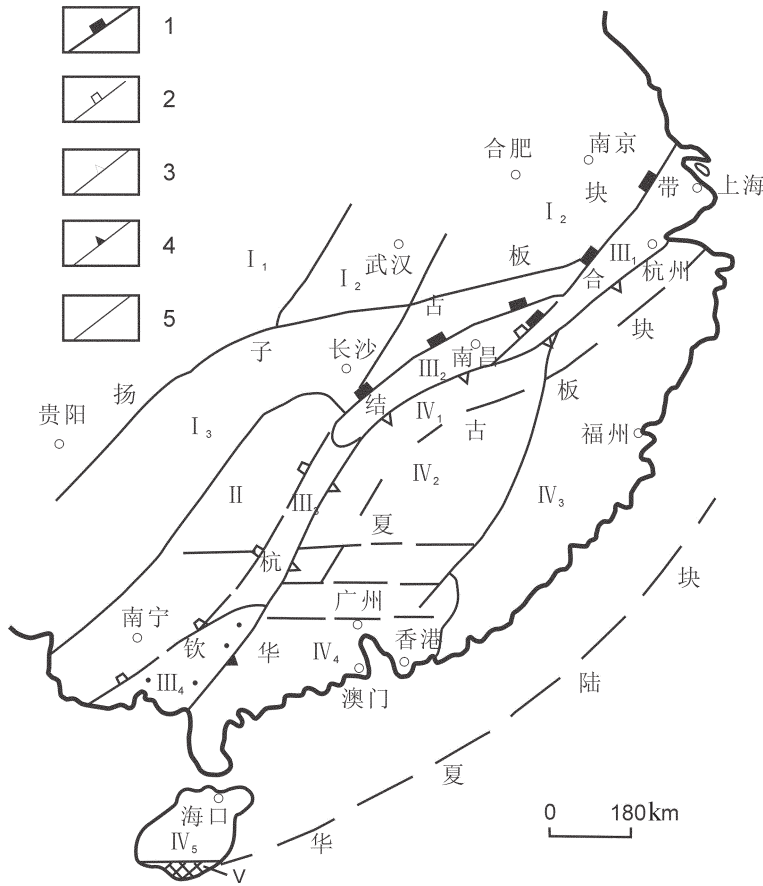


图 1 中国东南陆区晋宁-加里东期变质基底构造分区略图

1—晋宁期缝合带及蛇绿岩带;2—推测的晋宁期缝合带;3—加里东期拼接带;4—加里东-印支期拼接带;  
 5—断裂带;I—扬子陆块;I<sub>1</sub>—上扬子地块;I<sub>2</sub>—中下扬子地块;I<sub>3</sub>—江南地块;II—湘桂加里东期造山带(华南加里东期造山系西部);III—钦-杭结合带;III<sub>1</sub>—怀玉古岛弧地体;III<sub>2</sub>—赣中对冲叠覆带;III<sub>3</sub>—湘东加里东期褶皱带;  
 III<sub>4</sub>—钦州残留海槽(印支期造山带);IV—东南加里东期造山带;IV<sub>1</sub>—罗霄山-会稽山前缘褶皱冲带;IV<sub>2</sub>—赣粤褶皱带;  
 IV<sub>3</sub>—武夷褶皱带;IV<sub>4</sub>—岭南褶皱带;IV<sub>5</sub>—海南褶皱带;V—琼南微陆块(华夏陆地段残块)

Fig.1 Schematic map showing tectonic division of Jining-Caledonian metamorphic basement in Southeast China continental area

1-Jinning suture zone and ophiolite zone; 2-Inferred Jinning suture zone; 3-Caledonian assembly belt; 4-Caledonian-Indosinian assembly belt; 5-fault zone; I-Yangtze Block; I<sub>1</sub>-Upper Yangtze Block; I<sub>2</sub>-Middle-Lower Yangtze Block; I<sub>3</sub>-Jiangnan Block; II-Xiang-Gui (Hunan-Guangxi) Caledonian orogenic belt (western part of Caledonian orogenic series in South China); III-Qinh-Hang conjunction belt; III<sub>1</sub>-Huaiyu paleo-island massif; III<sub>2</sub>-Ramp overlapped belt in central Jiangxi; III<sub>3</sub>-Xiangdong (East Hunan) Caledonian folded belt; III<sub>4</sub>-Qinzhou residual trough (Indosinian orogenic belt); IV-Caledonian orogenic belt in southeast China; IV<sub>1</sub>-Luoxiaoshan-Kuaijishan frontal folding and thrust belt; IV<sub>2</sub>-Ganyue (Jiangxi-Guangdong) folded belt; IV<sub>3</sub>-Wuyi folded belt; IV<sub>4</sub>-Lingnan folded belt; IV<sub>5</sub>-Hainan folded belt; V-Qiongnan (South Hainan) micro-block (relict of Cathaysian Block)

纪早世“板溪期”地层等所获 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄值主要为 815~760 Ma<sup>[6-7]</sup>,时代主要为新元古代早期,下部也有可能延至中元古代晚期。

1.1.2 钦—杭结合带

钦—杭带<sup>[8]</sup>东段(浙赣段)大致在浏阳—苏州、萍乡—绍兴断裂带之间,大部分被南华纪以来的沉积盖层所覆,其残体仅见于赣中、赣东北、皖南一带,

其结构构造十分复杂,自北而南可分为 4 条构造带:

①浏阳—休宁带:北面以浏阳—景德镇断裂带与江南推覆隆起带分界。为一条由溪口群组成的宽约 50 km 的韧性剪切与构造岩片堆叠带。

②万年推覆隆起带:为基本成层有序的溪口群组成的向南东方向逆冲的大型推覆体。

③歙县—德兴蛇绿混杂岩带:该带以石耳山北

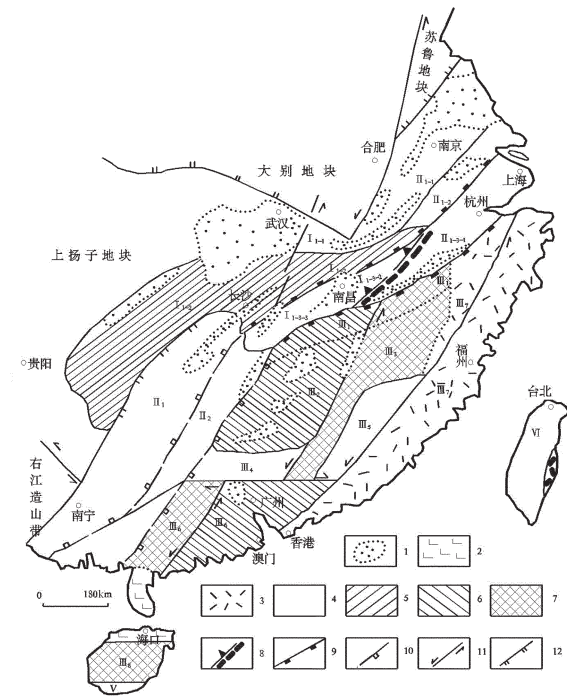


图2 中国东南陆区地质构造区划简图

1—中新生代盆地;2—新生代玄武岩;3—中生代火山盆地;4—拗陷带;5—江南隆起部分;6—加里东期造山带中上部隆起区;7—加里东期造山带中根部隆起区;8—古缝合带及蛇绿岩带;9—钦—杭结合带;10—钦—杭结合带推测的隐伏段;11—走滑断裂;12—逆冲断裂;I—扬子陆块;I<sub>1</sub>—中下扬子地块;I<sub>1-1</sub>—长江中下游拗陷带;I<sub>1-2</sub>—江南隆起带;I<sub>1-3</sub>—浙赣结合带(钦—杭带东段);I<sub>1-3-1</sub>—怀玉拗陷带;I<sub>1-3-2</sub>—万年推覆隆起;I<sub>1-3-3</sub>—萍乡—丰城拗陷带;II—扬子陆缘加里东期造山带;II<sub>1</sub>—湘桂拗陷带;II<sub>2</sub>—湘东拗陷带;III—东南加里东期造山带;III<sub>1</sub>—武功山—会稽山前缘仰冲带;III<sub>2</sub>—赣中南隆起带;III<sub>3</sub>—武夷隆起带;III<sub>4</sub>—粤北拗陷带;III<sub>5</sub>—闽西南拗陷带;III<sub>6</sub>—岭南隆起带;III<sub>7</sub>—沿海火山盆地带;III<sub>8</sub>—海南隆起区;IV—钦州印支期造山带;V—琼南(残留)地块;VI—台湾岛弧造山带

Fig.2 Sketch map showing geotectonic division of Southeast China continental area

1—Middle—Cenozoic basin; 2—Cenozoic basalt; 3—Mesozoic volcanic basin; 4—Depression belt; 5—Jiangnan uplifting segment; 6—Middle—upper uplifting area of Caledonian orogenic belt; 7—Middle—rooting uplifting area of Caledonian orogenic belt; 8—Paleo-suture zone and ophiolite massif; 9—Qin—hang conjunction belt; 10—Inferred buried section of Qin—hang conjunction belt; 11—Strike-slip fault; 12—Thrusting fault  
I—Yangtze block; I<sub>1</sub>—Middle—lower Yangtze block;  
I<sub>1-1</sub>—Depression belt of middle and lower reaches of Yangtze River; I<sub>1-2</sub>—Jiangnan uplifting belt; I<sub>1-3</sub>—Zhegan (Zhejiang—Jiangxi) conjunction belt (east segment of Qinhang conjunction belt); I<sub>1-3-1</sub>—Huaiyu geotectogene; I<sub>1-3-2</sub>—Wannian nappe uplifting; I<sub>1-3-3</sub>—Pingxiang—Fengcheng geotectogene;  
II—Canadian orogenic belt of Yangtze epicontinent;  
II<sub>1</sub>—Hunan—Guangxi geotectogene; II<sub>2</sub>—Xiangdong (East Hunan) geotectogene; III—Canadian orogenic belt of Southeast China; III<sub>1</sub>—Wugongshan—Kuajishan frontal obduction belt; III<sub>2</sub>—Central—south Jiangxi uplifting belt; III<sub>3</sub>—Wuyi uplifting belt; III<sub>4</sub>—North Guangdong geotectogene; III<sub>5</sub>—Southwest Fujian geotectogene; III<sub>6</sub>—Lingnan uplifting belt; III<sub>7</sub>—Volcanic basin belt along the coast; III<sub>8</sub>—Hainan uplifting region; IV—Qin Zhou Indosinian orogenic belt; V—South Hainan residual block; VI—Orogenic belt of Taiwan islands

北东向左行走滑切脆性剪切带为界,东北侧歙县伏川蛇绿混杂岩带出露于向北北西仰冲带的前缘;南西侧德兴—东乡的蛇绿混杂岩带出露于万年推覆体的前缘,混杂于新元古代早期浅变质的海相火山岩地层中。蛇绿岩具有准原地构造侵位特点。德兴西湾与蛇绿岩相伴的大洋斜长花岗岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄为(968±23) Ma<sup>[9]</sup>,残留的蓝闪片岩 K-Ar 年龄值(866±4) Ma<sup>[10]</sup>,为中新元古代华南小洋盆北支的残迹。

④怀玉古岛弧地体:基底由中新元古界双溪坞群浅变质的火山岛弧沉积组成,下部为深海相含铜铁的细碧岩、石英角斑岩组成的火山岩系,上部中酸性火山岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄值(877±18) Ma<sup>[7]</sup>。该带自加里东运动以来遭受万年推覆隆起和华南造山系多次大规模对冲叠覆,成为一个残体,西部呈尖锥状向西尖灭,在浙赣铁路两侧留下一串混杂残体。该岛弧带南侧,即与古华夏陆块之间推测有华南洋南支的残迹,已遭到加里东期郴州—绍兴拼接带的消减叠覆。

晋宁期钦—杭结合带的南西段(湘桂段),在湘中、粤北已被南华系—下古生界组成的湘桂加里东造山带和中泥盆世—中生代拗陷覆盖。现在作为扬子、华夏两个古板块分界的北海—绍兴断裂带其郴州—绍兴段是加里东运动期间形成的华南造山系与中下扬子地块的仰冲拼接带。至于北海段(博白—岑溪断裂带)为钦州印支造山带与岭南加里东期褶皱带的拼接断裂带。以北海—绍兴一线为界华南加里东期造山系分别奠基于扬子陆缘褶皱基底和碎裂的华夏陆缘古中元古代结晶基底之上。并由此推测钦—杭晋宁期结合带南西段可能潜伏于萍乡—北海与衡阳—凭祥之间的加里东期造山带深部。

1.1.3 华南造山系

华南造山系占据中国东南陆区南部的绝大部分,大致以北海—绍兴构造拼接带为界,分属于扬子、华夏陆缘。其西建议称湘桂加里东期造山带,其东可称东南加里东期造山带。

根据造山带的褶皱变形,奠基于华夏结晶基底之上的东南造山带主要多次向北,向西拼贴,形成了雪峰、罗霄、武夷等北部近东西向,主体呈近南北向或局部向西弯曲的半弧状褶皱带。同时显示在南岭地区形成了河池—全南、昆仑关—佛冈、梧州—广州等一组近东西向具有转换特点的断裂带,沿该带岭

南褶皱带有向北拼贴(如大明山—蒙山东西向褶皱带)和迭次向钦州残留海槽聚合推进的趋势。这可能是南岭东西向构造带的雏形。

华南加里东造山系由于各地剥蚀程度不同,暴露出来的构造层次也不相同,结合闽西南桃溪、赣东南寻乌等构造侵位的深部岩块综合分析。造山带大致可分为 3 层结构:

上部:由下古生界低绿片岩相变质岩系组成,以线状褶皱与脆性断裂为特征。

中部:主要由南华系、震旦系和部分下寒武统高绿片岩相或低角闪岩相变质岩系组成,围绕一些变形花岗岩热穹隆发生递进变质,局部有边缘混合岩化现象,以韧性、韧脆性、脆性断裂共存为特征。

根部:由南华系及古中元古界岩块组成,主要为角闪岩相、局部为泥质麻粒岩相的深变质岩系,花岗岩强烈变形,韧性剪切带与混合岩化发育,主要见于北武夷隆起和云开隆起。

#### 1.1.4 华夏陆块

这是一个自南华纪早世以来遭到多次裂解的陆块,中新世时南海海盆扩张,很可能是该陆块最后一次解体沉沦。残留于海南三亚地区的琼南微地块是其在陆上保留下来的唯一残块,一大部分被掩埋于东南加里东造山带下部,现在出露于造山带根部的古中元古界八都岩群(浙西南)、麻源岩群(闽西北)、天堂山岩群(云开)、抱板岩群(海南)为其剥露出的一部分结晶基底残块。同时在浙西、西沙海域的钻孔中也见到其裂解沉陷的中深变质岩块。说明它曾有较大规模和较强的体能,对中国东南部元古宙以来的地质构造演化曾经发生过重要影响。

#### 1.2 中生代“隆、坳、盆”构造

东南陆区中生代时经历了印支、燕山陆内造山和晚白垩世—古近纪伸展断陷成盆,形成了由隆起带、坳陷带和红色断陷盆地组成的构造景观。这些隆、坳、盆构造,由于组成与结构不同,导致地壳乃至岩石圈的不均一性。

区内隆起带与坳陷带是在印支期大型盖层褶皱的基础上,于燕山期时形成的,是陆壳硬化条件下大型复式背斜和复式向斜的变种,是陆内造山活动的典型构造样式。隆起带变质基底裸露,并为重要的花岗岩基带,形成山脉。坳陷带由沉积盖层组成,盖层厚度坳边薄,坳槽厚,地貌上为低山凹地。扬子区南华系—侏罗系盖层厚度为 4~9 km,华南区泥盆系—

侏罗系盖层厚度为 3~5 km。沿海火山岩带( $J_3-K_1$ )火山岩层一般为 1~3 km。坳陷带花岗质岩石以中小型岩体为主,坳陷带内部和隆坳交接带发育深源的同熔型中酸性侵入岩。

上白垩统一古近系组成的断陷盆地,多数呈半地堑状,较大盆地红色砂砾岩厚度为 1~4 km。

如图 2 所示,中国东南陆区隆、坳构造受变质基底构造格局制约,而中生代构造又对前期构造进行了改造。从总体上看,长江中下游、江南、浙赣湘桂“两坳一隆”3 条弧形构造带呈半环状展布于西北部,东南部为沿海火山岩带,中部为赣闽粤隆起区。

长江中下游坳陷带,总体呈向南凸出的弧形展布。江南隆起带大致可分为雪峰(西)、九岭(中)、苏锡常(东)3 段,中段褶皱基底裸露,向两端倾伏。加里东运动以来,西段受华夏板块向北西仰冲的影响,雪峰隆起呈弧形向北西方向弯曲;中段九岭隆起则多次向南南东方向推覆隆升,总体呈近东西向的反“S”状,与雪峰隆起在长沙—衡阳地区联结,并反向展开,组成海鸥式隆起带。浙赣湘桂坳陷带受古钦—杭结合带控制总体呈反“S”状,其中怀玉坳陷由南华纪以来的沉积盖层组成,湘桂坳陷是发育于湘桂加里东期造山带变质基底上的泥盆纪—侏罗纪坳陷带。在赣闽粤隆起区加里东期造山带形成的浅变质岩基底大面积裸露,也是一个加里东、华力西、印支、燕山期“四代同堂”的花岗岩岩基区。处于该隆起边部的粤北、闽西南两个小型坳陷,也有大量花岗岩分布。值得注意的是,围绕钦州湾印支造山带及其以北的南岭中段,是一个北东向、北西向、近南北向和近东西向构造带的复合交接地带,形成了华南最重要的构造结。

中国东南陆区的断陷红盆中小型居多,但分布较广,主要有 4 条带,即:长江中下游弧形“红盆”带,包括江汉、黄梅—望江、宣城、苏北等一串大中小型盆地;钦—杭反“S”状“红盆”带,包括金衢、信江、宜丰、新余、衡阳、南宁等一串盆地;江汉—南宁北东向“红盆”带;望江—三水北东向“红盆”带,包括黄梅—望江—鄱阳—吉泰—赣州—南雄—三水等一串盆地。

## 2 深部地质结构

东南陆区迄今涉及地壳部分的地球物理特别是爆破测深资料成果较多,是本文讨论的重点,关于岩

石圈地幔和软流圈的资料偏少,只能简略地作一些探讨。

## 2.1 地壳结构

中国东南陆区总体上是一个地壳伸展减薄区,但各地减薄程度有所不同,地壳分层物质结构也有差异。笔者按地壳浅表构造单元和隆、坳、盆为区块,利用爆破地震测深资料成果,就此进行初步研究分析。

### 2.1.1 地壳厚度和莫霍面特征

依据地壳厚度将区内地壳分为弱减薄区(38~36 km)、次减薄区(35~32 km)、中强减薄区(31~29 km),东南陆缘海域为强减薄区,如图3。

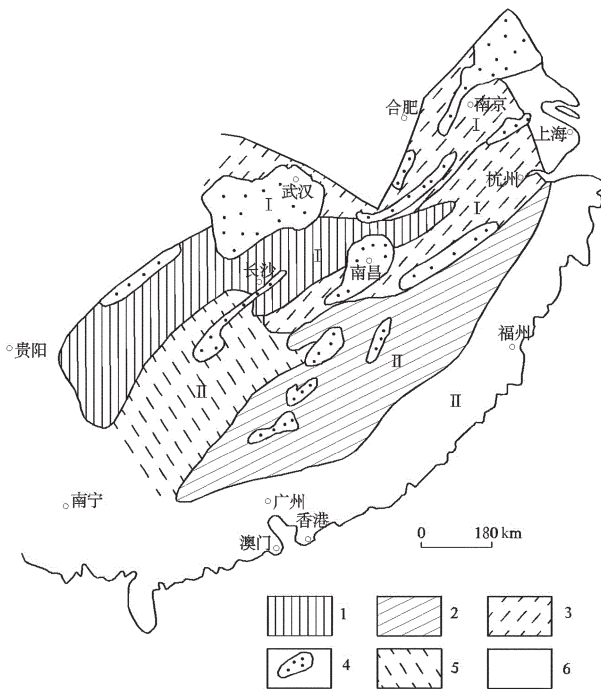


图3 中国东南陆区地壳构造分区简图

I—中下扬子弱—次减薄壳体; II—华南次—中强减薄壳体;  
1—江南隆起带地壳弱减薄区; 2—赣闽粤隆起区地壳次减薄区;  
3—扬子拗陷区地壳次减薄区; 4—晚白垩世—古近纪盆地地壳中强减薄区;  
5—湘桂拗陷地壳次—中强减薄区; 6—江南沿海地壳中强减薄区

Fig.3 Sketch map showing tectonic division of the crust in Southeast China continental area

I—Middle-lower Yangtze weak-secondary thinning crustal body; II—South China secondary-moderate intensive thinning crustal body; 1—Weak thinning area of the crust in Jiangnan uplifting belt; 2—Secondary thinning area of the crust in Jiangxi-Fujian-Guangdong uplift region; 3—Secondary thinning area of the crust in the Yangtze sag region; 4—Moderate-intensive thinning area of the crust in the Late Cretaceous-Paleocene basin; 5—Secondary-moderate intensive thinning area of the crust in Hunan-Guangxi sag region; 6—Moderate intensive thinning area of the crust along the southeast coast

### (1) 中下扬子弱—次减薄壳体

该区北部的长江中下游拗陷带是一条显著的弧形正异常带。据王椿镛等<sup>[11]</sup>庄墓—张公渡广角地震测深剖面(以下简称剖面)观测结果(图4):在北大别埠塔寺与撞钟之间莫霍面下拗最大埋深40 km。南大别二郎与蔡山间为大别深变质薄皮推覆体与中下扬子拗陷的叠覆带,莫霍面向南翘起,由40 km深处逐渐抬升,到蔡山—张公渡区段,即长江中下游拗陷带,莫霍面埋深为34~35 km。灵璧—奉贤剖面<sup>[12]</sup>镇江段,属长江中下游拗陷带东段,地壳厚度也为34~35 km,所以该拗陷带总体为地壳次减薄带。

江南隆起带西端的雪峰隆起即新化—城步超壳断裂带以西,据黑水—泉州剖面<sup>[13]</sup>地壳厚40~42 km(图5),江南中段据屯溪—温州剖面,屯溪附近地壳厚度为37~38 km(图6),所以江南隆起带的隆起部分为地壳弱减薄带。浙赣拗陷带在屯溪—温州剖面莫霍面呈波状凸起,地壳厚34~35 km,在宜丰附近减薄为31~32 km,与新余、宜丰红色断陷盆地影响有关。总体为地壳次减薄带。

据上所述,中下扬子地壳浅表为“两拗夹一隆”,莫霍面则为“两隆夹一拗”,总体为弱—次减薄壳体。

### (2) 华南次—中强减薄壳体

该区地壳厚度与北面的中下扬子弱—次减薄壳体相比薄3~5 km,是一个次—中强减薄壳体。

据黑水—泉州剖面(图5),雪峰隆起以东的湘桂拗陷带,莫霍面深度在新化—城步断裂以东抬升至36 km,金兰断裂带以东上升为31~32 km。柳州—阳江剖面<sup>[14]</sup>,柳州一带处雪峰隆起边缘地壳厚35 km,向南东进入湘桂拗陷,在竹根、桂平莫霍面经两次抬升,至容县一带地壳厚度为31 km,剖面进入云开隆起地壳逐渐增厚。因此湘桂拗陷带为次—中强地壳减薄带。

赣闽粤隆起区,据屯溪—温州、黑水—泉州、门源—宁德剖面<sup>[15]</sup>测深资料,武夷隆起带地壳厚为32~34 km。连州—港口剖面<sup>[16]</sup>的南岭(连州—惠州段)部分由于隆起起伏,莫霍面呈波状起伏,地壳厚31~33 km,万洋山—诸广山隆起缺少地震测深资料,据江西省地矿局<sup>[17]</sup>参照地震测深剖面运用布格重力资料推算的地壳厚度为33~36 km。该区之中或边部的永新、闽西南等小型拗陷,地壳厚度一般减薄为30~31 km。因此赣闽粤隆起区总体上为地壳次减薄区。

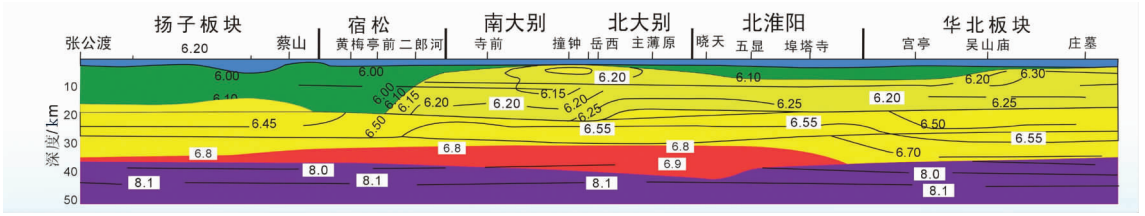


图 4 大别山造山带二维 P 波速度结构图(据王椿镛等,1997)

Fig.4 2D P-wave velocity structure of the Dabie orogenic belt (after Wang Chunyong, et al., 1997)

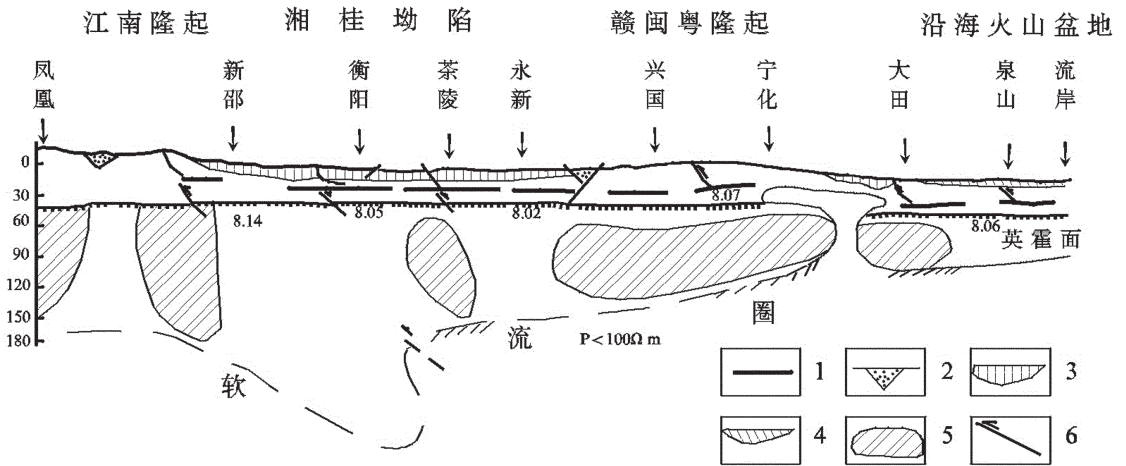


图 5 江南(雪峰段)隆起-沿海北西向剖面的岩石圈构造略图(据袁学诚等资料修改)

1—壳内低速带;2—晚白垩世-古近纪红色盆地;3—晚古生代-早中生代拗陷;4—晚中生代火山盆地; 5—岩石圈地幔硬块;6—断层

Fig.5 Sketch map showing lithospheric structure of Jiangnan (Xuefeng section) uplift-NW section along the coast (modified after Yuan Xuecheng et al.)

1-Lower velocity belt within the crust; 2-Late Cretaceous-Paleogene red basin; 3-Late Paleozoic-Early Mesozoic depression; 4-Late Mesozoic volcanic basin; 5-hard block of lithospheric mantle; 6-fault

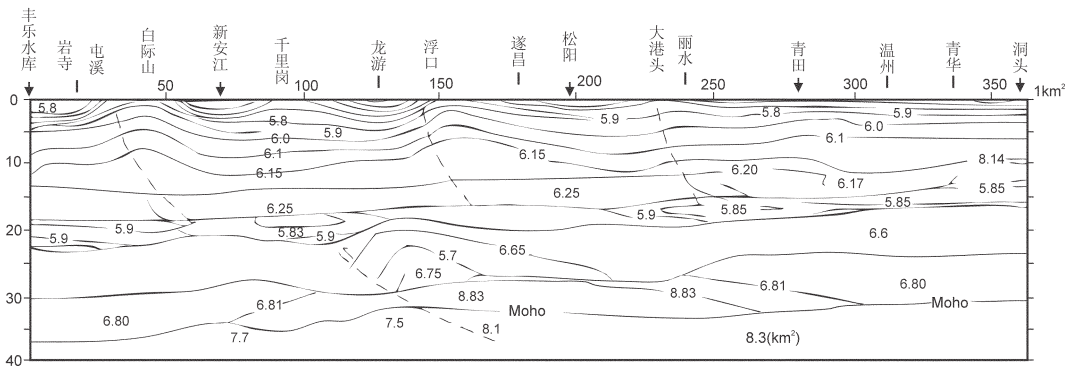


图 6 屯溪—温州地带的岩石圈二组速度结构图

(据地矿部华南物化遥测图委员会东南沿海重点片综合解译组资料略作修改;单位:km/s)

Fig.6 Structure of lithospheric binary velocity in Tunxi-Wenzhou belt

东南沿海火山岩带:包括苏、沪、浙、闽、粤沿海地带,为一条燕山期火山岩带,根据灵壁—奉贤、屯溪—温州、随州—宁德、永春—崇武、黑水—泉州、连州—港口等剖面,地壳厚均在31~29 km,为地壳中强减薄带。

所以东南陆区莫霍面除总体向沿海方向平坦翘起外,由湘桂→诸广→赣江→武夷→沿海,随浅表隆拗变化略作波状起伏。

(3) 断陷红盆地中强减薄壳体

区内晚白垩世—古近纪红层断陷盆地在布格重力图上表现为正异常,多数又发育于拗陷带之上,因此使地壳更薄,构成陆内地壳减薄带的一个个核心。据相关剖面,鄱阳盆地地壳厚30 km,宣城盆地31 km,苏中盆地30 km,衡阳、吉泰盆地为29~30 km,发育于雪峰隆起的麻阳盆地,地壳由周边的42 km减薄为39 km。江汉盆地据湖北省物探队推算地壳厚仅为30~31 km。所以江汉—衡阳、望江—鄱阳—吉泰—赣州以及东南沿海构成了东南陆区3条比较显著的次—中强地壳减薄带或幔隆带。

2.1.2 地壳分层物质结构

根据前述区内“隆、拗、盆”的地壳厚度有所不同。隆起带地壳厚度较大,隆起成山,莫霍面下拗构成“双凸型”壳体,拗陷、断陷带地壳厚度减薄,地形低凹,莫霍面上隆构成“双凹型”壳体,它们虽然都具有中、下3层结构,但其分层厚度和物质组成有明显差异。概括起来有以下不同。

一是拗(断)陷带上壳较厚。隆起带、拗陷带壳层界面并非十分平坦。以屯溪—温州剖面为例,上地壳p波6.15 km/s速度界面在江南隆起深部为9~12 km,怀玉拗陷为14 km,武夷隆起又抬升至8~12 km。拗陷带沉积盖层厚度一般可由2000 m至10000 m,断陷盆地一般也可由1000 m至4000 m。隆起带出露地层差异也很大,如北武夷已暴露加里东期造山带根部带,而诸广山出露的为上部带,地层厚度相差估计在6000 m以上,尽管地震波速度受地壳增温影响,但拗(断)陷带上壳厚度大于隆起带上壳厚度当为正常现象,而且物质组成也有明显差异。

二是拗(断)陷带中下壳厚度较隆起带要小得多,拗陷带为“双凹型”壳体,加上上壳较厚,拗陷带的中下壳为强减薄带。如大别山庄墓—张公渡剖面(图4)下扬子拗陷p波6.10 km/s速度界面,埋深为

12~15 km。与大别隆起相比,中下地壳显著变薄。

三是中地壳以发育不连续低速层为特征,中壳物质组成推测为深变质岩和花岗质层,据陈沪生(1993)<sup>[2]</sup>研究在长江中下游地区中壳深变质岩为高磁、高密度、高速度、高阻“四高”物性层。中壳中的低速层厚度一般为5~10 km,有可能是地壳压缩加厚或伸展减薄时形成的韧性剪切带或熔融层。

四是下地壳较薄,一般推测下地壳为塑性较高的硅镁质岩石或麻粒岩、花岗质岩,Ip波速各地有所不同,为6.17~6.82 km/s。拗(断)陷带下壳速度偏低,厚度偏薄。区内下壳厚度一般为6~10 km。

2.2 岩石圈地幔与软流圈结构

2.2.1 岩石圈构造

根据朱介寿等<sup>[3]</sup>利用地震层析研究成果编制的华南地区岩石圈厚度分布与构造分区图,作者依据地壳浅表隆拗、构造单元的地壳、岩石圈结构特点,对中国东南陆区的岩石圈构造作了进一步划分(图7)。区内

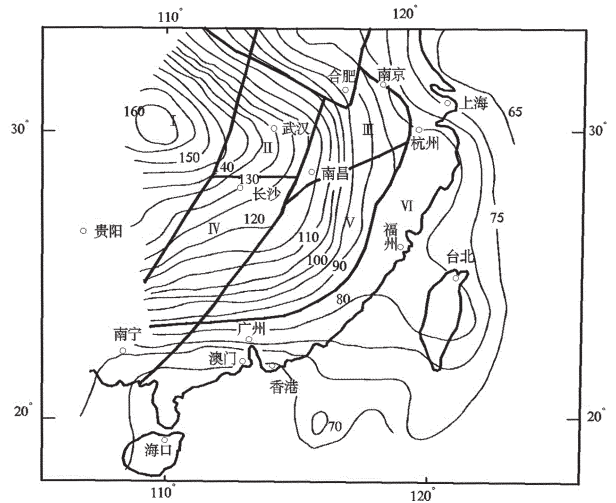


图7 中国东南陆区及周边地区岩石圈构造分区略图 (据朱介寿等资料修改)

(图中曲线表示岩石圈等厚线,单位:km)

- I—上扬子地块陆根状岩石圈; II—中扬子地块稳定岩石圈;
- III—下扬子地块弱减薄型岩石圈; IV—湘桂中强减薄地壳中厚岩石圈;
- V—赣闽粤弱减薄岩石圈; VI—东南沿海中强减薄岩石圈

Fig.7 Sketch map showing tectonic division in southeast continental area and its neighboring areas

(modified after Zhu Jieshou)

- I—Rooting lithosphere of Upper Yangtze Block; II—Stable lithosphere of Middle Yangtze Block; III—Weak thinning lithosphere of Lower Yangtze Block; IV—Middle-thick lithosphere in moderate-intensive thinning crust in Hunan—Guangxi; V—Weak thinning lithosphere in Jiangxi—Fujian—Guangdong; VI—Moderate-intensive thinning lithosphere along the southeast coast

岩石圈厚度总体向沿海方向减薄。中下扬子地区以团风—浏阳断裂带为界,分为中扬子岩石圈稳定区和下扬子岩石圈弱减薄区,前者地壳为弱一次减薄区,岩石圈厚 150~120 km;后者地壳为次减薄型,岩石圈厚 120~80 km。湘桂坳陷为厚岩石圈地壳减薄区,地震层析得出的岩石圈上地幔厚度 140~120 km,据袁学诚等(1996)编制的北冰洋—欧亚大陆—太平洋地学断面,用大地电磁测深得出的岩石圈厚度在湘中坳陷达 200 km 左右,同时得出的热岩石圈底界深度也在 200 km 左右,该区有可能是一个薄壳厚幔区。赣闽粤隆起区为岩石圈次减薄区,厚度 120~80 km,在南京、上海、丽水、广州一线以东沿海为岩石圈中强减薄区,厚度 80~70 km。

2.2.2 物质组成

(1) 物性结构

朱介寿等(2005)用地震层析方法得出华南岩石圈结构变化较大,其中雪峰隆起和赣闽粤地区岩石圈地幔下部为 10~30 km 厚的饼状幔块(图 8)<sup>[2]</sup>,下扬子地区地幔速度偏低。根据黑水—泉州大地电磁测深资料,东南陆区岩石圈地幔的电阻率存在明显的不均一性,而且隆起带下方多数为电阻率在 100~1000 Ω 的高阻块体,如罗霄(茶陵)、武夷(兴国—宁化)、戴云(大田);在坳(断)陷带下方主要是电阻率

10 Ω 的地幔软体,如闽西南(宁化—大田间)、赣中南(永新—泰和)、湘中(邵阳—茶陵间),见图 5。

(2) 地球化学组成

中国东南陆区,钨、铜两大岩浆岩成矿系列的矿质来源是地质界关注的热点。作者根据地表分散流地球化学异常,结合地层、岩石地球化学资料以及岩浆与矿质来源示踪标志,初步识别出本区是一个世界级的壳型钨地球化学块体,而铜成矿物质主要来自岩石圈地幔。这里只能简单地列举几个事实。

关于华南壳型钨(锡)地球化学块体,谢学锦用 1:20 万分散流测量结果得出其面积约为 43 万 km<sup>2</sup>(图 9),块体核心在赣南、湘南、粤北即南岭中段。据原地矿部南岭地球化学专题组资料(1988),南岭地区南华系—下三叠统岩石 W、Sn 平均含量分别为 2.23×10<sup>-6</sup>、4.04×10<sup>-6</sup>,均高于大陆地壳 W、Sn 平均含量。该区燕山期壳熔型花岗岩 W、Sn 平均含量分别为 3.26×10<sup>-6</sup>、12.58×10<sup>-6</sup>,江西北部同期同熔型花岗闪长斑岩 W 含量为 0.3×10<sup>-6</sup>、Sn 为 4.6×10<sup>-6</sup><sup>[18]</sup>。江西晋宁期橄榄岩 W、Sn 平均含量均为 0.7×10<sup>-6</sup>,而且东南陆区早中侏罗世玄武岩并无 W、Sn 富集,显然钨、锡元素主要富集于地壳。东南陆区铜元素主要富集于岩石圈地幔。以铜矿床较多的江西为例,土壤、分散流地球化学测量铜平均含量为 22.2×10<sup>-6</sup>、

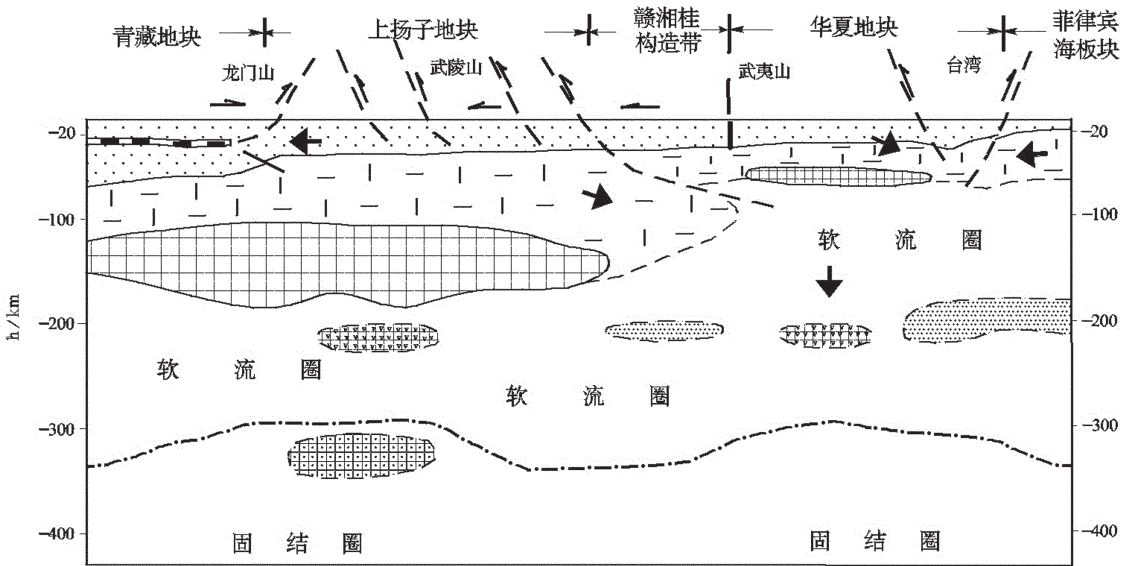


图 8 龙门山—武陵山—台湾地区  $V_s$ ( $\text{km}\cdot\text{s}^{-1}$ )剖面及岩石圈及软流圈结构解释图

(据朱介寿等,2005)

Fig.8 Interpretation of the section and lithospheric and rheospheric structure of  $V_s$  ( $\text{km}\cdot\text{s}^{-1}$ ) in Longmenshan-Wulingshan-Taiwan region (after Zhu Jiushou et al, 2005)



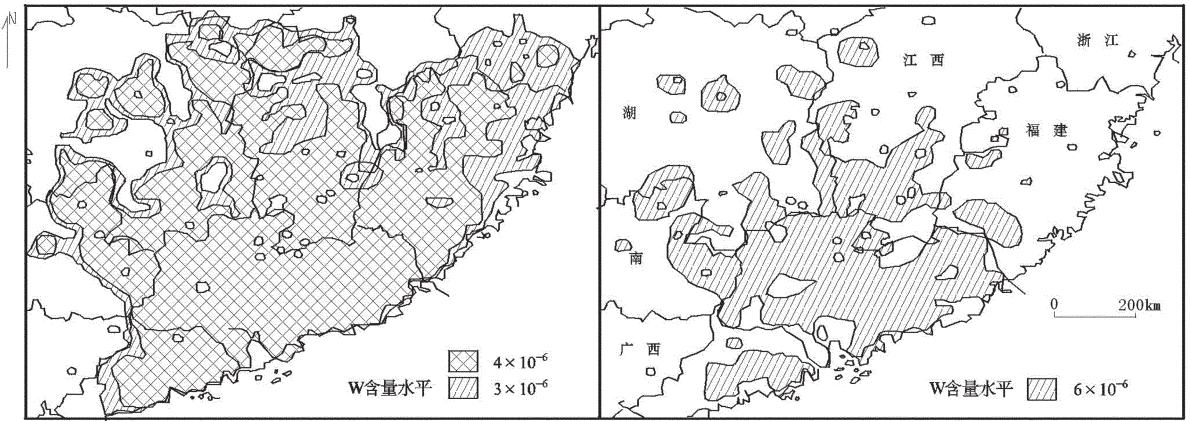


图9 华南钨地球化学块体略图(据谢学锦等,2001)

Fig.9 Sketch map of W-geochemical mass in South China (After Xie Xuejing et al.,2001)

$18.5 \times 10^{-6}$ , 赣北中新元古界浅变质岩系含铜  $26 \times 10^{-6}$ , 均与全球大陆地壳铜平均含量相近。壳熔型花岗岩平均含铜仅为  $6.40 \times 10^{-6}$ , 中新元古界韩源岩组与蛇绿岩块混杂的亲洋型浅变质火山岩系, 含铜  $65 \times 10^{-6}$ 。怀玉山北部出露的蛇绿岩块含铜平均丰度为  $125 \times 10^{-6}$ (舒良树, 1996)。全球岩石圈亏损地幔铜平均含量推荐值为  $29.1 \times 10^{-6}$ , 高于大陆岩石圈铜平均含量的 4 倍。江西同熔型中酸性斑岩铜平均含量为  $356 \times 10^{-6}$ 。东南陆区从中新元古代至白垩纪, 中基性火山岩均伴有中小型铜矿床或铜矿化点分布, 已知与同熔型中酸性斑岩有关的铜矿床与深断裂密切相关。

(3) 钦—杭岩石圈不连续带

钦—杭古板块结合带为一条显著的岩石圈不连续带。其中作为扬子、华夏古板块分界的北海—绍兴拼接断裂带, 也是赣闽粤岩石圈次减薄区的西北边界, 根据屯溪—温州、门源—宁德、宜丰—吉安、黑水—泉州、柳州—阳江等爆破地震测深剖面 and 龙门山—台湾地震层析剖面(图 7), 萍乡—绍兴断裂带两侧地壳与岩石圈均北厚南薄, 并显示该带呈斜列型 3 层仰冲结构(图 10)。

上层据屯溪—温州剖面断裂带发生于中上地壳, 为由南向北的铲式仰冲断裂, 结合带北界的德兴—苏州断裂, 有明显显示。

中层发生于中地壳下部至莫霍面, 据饶家荣等研究(1993)结合带的茶陵—郴州段, 东侧莫霍面抬起, 断距 1~5 km, 屯溪—温州剖面(图 6), 清楚显示断裂带上盘下壳及地幔作楔状体上侵 8 km 左右,

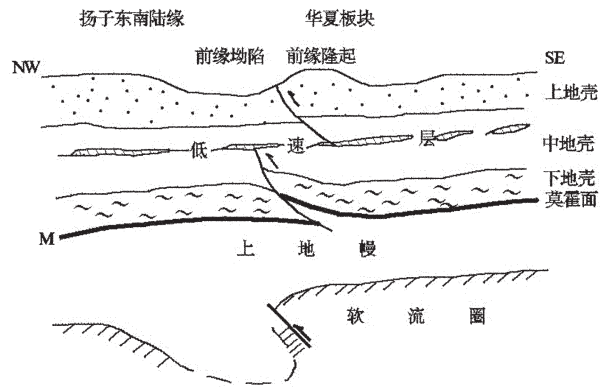


图 10 北海—绍兴拼接带仰冲模式示意图

Fig.10 Schematic diagram of obduction model for Beihai-Shaoxing assembly belt

为一幔枝构造。

下层在图 5 和图 7 中可见, 由于仰冲作用使岩石圈地幔及软流圈发生韧性剪切或拗折, 其前缘岩石圈地幔显著加厚。

此外, 陈江峰等<sup>[20]</sup>得出由绍兴、赣东北至粤西存在一条北东向高  $\epsilon Nd$  值花岗岩带(图 11), 与本文前述的隐伏于加里东期造山带之下的钦—杭结合带华南洋南东支古缝合带大致吻合, 显示出洋壳物质的添加使花岗岩浆富于幔质。

### 3 中生代岩石圈物质结构调整与大规模成矿作用

现今中国东南陆区的岩石圈结构构造的形成, 主要经历了燕山陆内造山与喜马拉雅大陆伸展两个

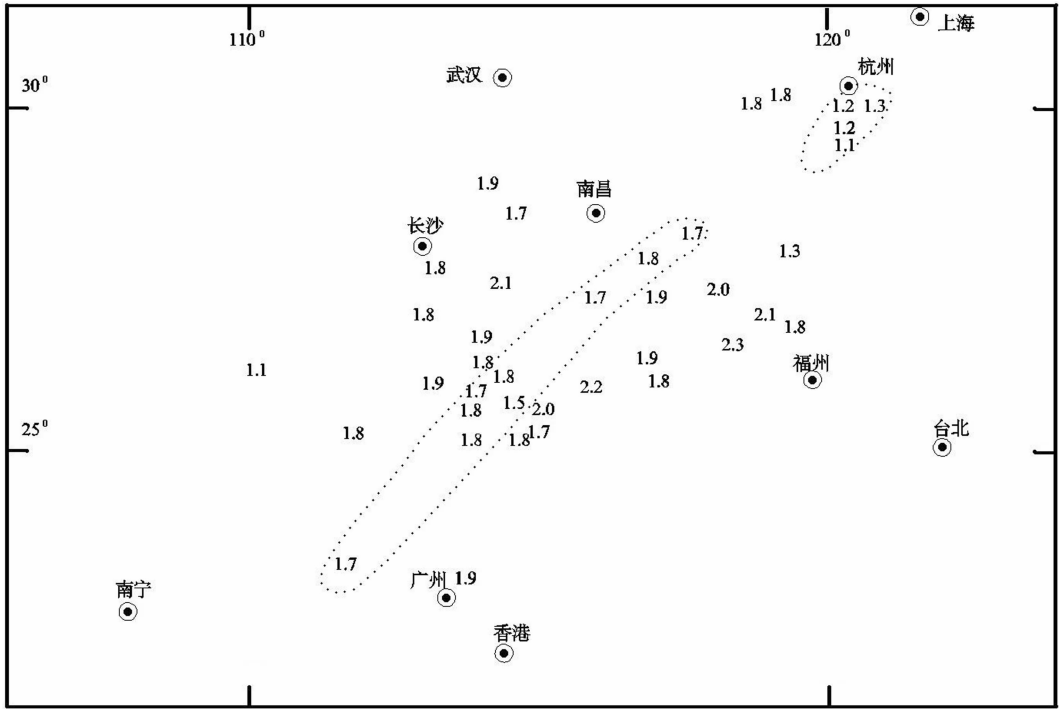


图 11 中国东南前中生代花岗岩 Nd 同位素模式年龄分布图

(虚线为低 Nb 模式年龄岩体分布范围,单位:Ga)

Fig.11 Distribution of pre-Mesozoic granite Nb isotopic model ages in Southeast China

(Dotted line showing the distribution range of the lower Nb model ages, unit: Ga)

过程。

### 3.1 燕山陆内造山与大规模成矿作用

#### 3.1.1 陆内造山作用

邓晋福等<sup>[21]</sup>通过岩石探针方法,测算出中国东部在印支期曾是一个巨厚的岩石圈,其后它应有一个减薄过程。东南陆区于印支期造山后,进入了大陆发展时期,地壳进一步硬化。在晚三叠世—中侏罗世伸展期地壳和岩石圈有一次减薄过程。从华南晚三叠世—早侏罗世的弱海侵活动和含煤盆地有较多玄武岩分布推测,华南地区地壳伸展减薄作用要强于中下扬子地块,这种态势为燕山运动提供了背景。

根据袁学诚<sup>[2]</sup>的研究,东亚与西太平洋之间的毕鸟夫带大部分段落产状是高角度的,由此推想,它与东太平洋的板块俯冲带有不同特点。燕山期时欧亚大陆与古太平洋之间可能俯冲较弱,而以挤压走滑为主。这与李四光<sup>[22]</sup>通过中国构造体系成因模拟,得出的东亚大陆相对向南,古太平洋相对向北的左行力偶动力机制结论是吻合的,本文前述的东南陆区燕山期构造格局同样可以由此得到合理的解释。

燕山期欧亚大陆与古太平洋两个超级板块相互作用所产生的动能是超强的。中国大陆相对向南运动导致华北、扬子、华夏等古陆块的板内经向压缩,在古构造格局的基础上形成一系列弧形和近东西向隆拗构造带。东南陆区西南侧扬子陆块与印支地块挤压形成了北西向的右江构造带。随着近南北向左行力偶作用的发展形成了北东向挤压—走滑和北北东向走滑挤压型构造带,并相伴形成北西向、北西西向张裂带。而南岭中段构造结这时成了构造、岩浆与成矿活动的策源地,并以此为核心向东南陆区扩展。杨明桂等<sup>[23]</sup>以 145 Ma 为燕山早晚期分界,得出的花岗岩分布图,明显地反映了这一规律(图 12)。

这时东南陆区由于地壳刚性较强,大型隆起、拗陷与断裂成了陆内造山的主要构造样式,这些大型隆、拗构造主要是在印支期大型背、向斜构造基础上发展起来的,在区域挤压扭动状态下,地壳通过隆、拗变形发生了强烈的物质调整。杨明桂<sup>[24]</sup>曾就此提出过一个模式(图 13),即隆起带下部由于强烈压缩,上壳伸展,中地壳拆离造浆,向上壳运移主动就



图 12 中国东南陆区燕山期花岗岩分布略图

1—燕山晚期花岗岩；2—燕山早期花岗岩；3—燕山早期同熔型中酸性斑岩带；4—燕山晚期同熔型中酸性花岗岩带；5—燕山早期壳熔型花岗岩主带范围；6—燕山晚期晶洞花岗岩带；7—断裂带

Fig.12 Distribution of Yanshanian granites in Southeast China continental area

1-Late Yanshanian granite; 2-Early Yanshanian granite; 3-Early Yanshanian syntectic-intermediate-acid porphyry belt; 4-Late Yanshanian syntectic-intermediate-acid porphyry belt; 5-Range of the major belt of Early Yanshanian crust-solution granite; 6-Late Yanshanian miarolite belt; 7-Faulted zone

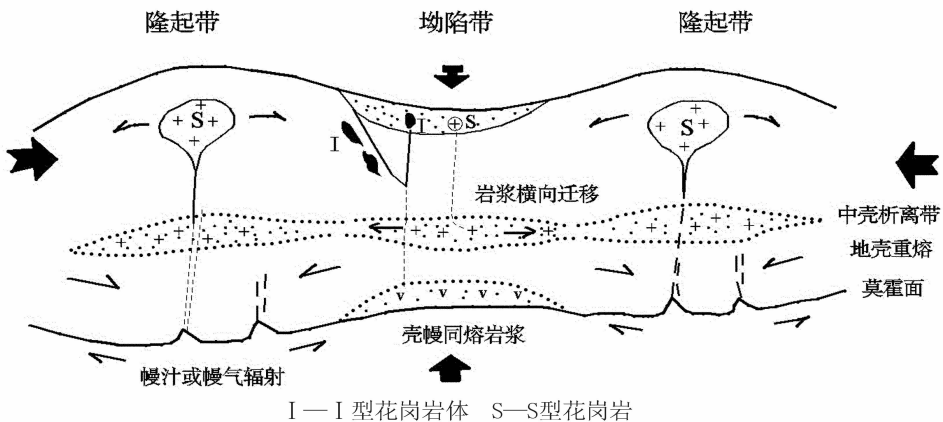


图 13 燕山期地壳深部作用模式(据杨明桂 1996 年资料修改)

Fig.13 Model of the Yanshanian crustal geological process at depth (modified after Yang Minggui, 1966)

位,形成壳熔型花岗岩基带。拗陷带的应力状态相反,即上壳挤压,下壳引张,诱使地幔或软流圈套物质上涌,在拗陷带及其边缘断裂形成小型壳幔同熔型岩带,同时拗陷带中上地壳形成的熔融岩浆向隆起带横向迁移,使隆起带地壳加厚,而且上壳特厚,拗陷带地壳减薄,中下壳尤薄。前者为“双凸型”壳体,后者为“双凹型”壳体。

在陆内造山的地壳挤压收缩阶段,由于地壳硬化,壳层虽有所加厚,但增厚不多;在花岗质岩浆上侵阶段,由于上壳热胀,陆壳于向上隆起的同时,又向东南沿海蠕散。在早白垩世陆内造山高峰之时,陆缘已开始伸展,沿海陆缘向东南凸出,与海岸相交方向形成了向东南方向开口的北西向张裂系。稍晚于早白垩世中期,沿海伸展型碱性晶洞花岗岩已开始形成。

### 3.1.2 大规模成矿作用

燕山运动被称为中国东南陆区岩浆成矿大爆炸时期,形成了 7 条大型金属矿产成矿带。这些成矿区的形成,有着重要的深部地质构造因素(图 14)。

(1)下扬子地块是中国东部最重要铜铁金属成矿区,已探明的铜资源储量迄今仍居全国之首。与“两坳夹一隆”浅表构造相对应形成了著名的与扬子

型同熔岩浆作用有关的长江中下游铜铁多金属成矿带、江南东段与南岭型壳熔深成花岗岩有关的钨锡多金属成矿带和钦—杭东段(浙赣)与扬子型同熔中酸性斑岩和沿海型碱长花岗岩有关的铜、钼多金属成矿带。其成岩成矿的深部因素:一是燕山期陆内造山时受华北、华夏陆块经向挤压,地壳发生隆拗分异。长江中下游、浙赣拗陷带地幔上隆,岩石圈不连续带活动加剧。二是下扬子地区为弱次减薄壳体软质地幔,岩石圈地幔硬化程度低(图 15)<sup>[2]</sup>,利于地幔供热并发生壳幔同熔造浆,岩浆及成矿热流体主要在拗陷带、深断裂带上涌成矿。

(2)钦—杭岩石圈不连续带及旁侧形成了中国东南陆区最为重要的贵多金属成矿带<sup>[1]</sup>。分布着一大批特大型铜钼铀钨锡银铅锌金矿床、矿田。不连续带北部为半隐伏的钦—杭晋宁期古板块结合带、大型拗陷带、幔隆带,是中国东部可与长江中下游成矿带媲美的铜多金属成矿带。其东段即前述的浙赣铜多金属成矿带,拥有德兴铜金矿集区等著名大型矿田、矿床,南西段即湘桂段,虽以与南岭型壳熔花岗岩相关的钨锡多金属矿床为主,但也有常宁水口山、桂阳宝山、贵县龙头山、封开园珠顶等一批与扬子型同熔中酸性斑岩有关的铜钼铅锌金多金属矿床。该

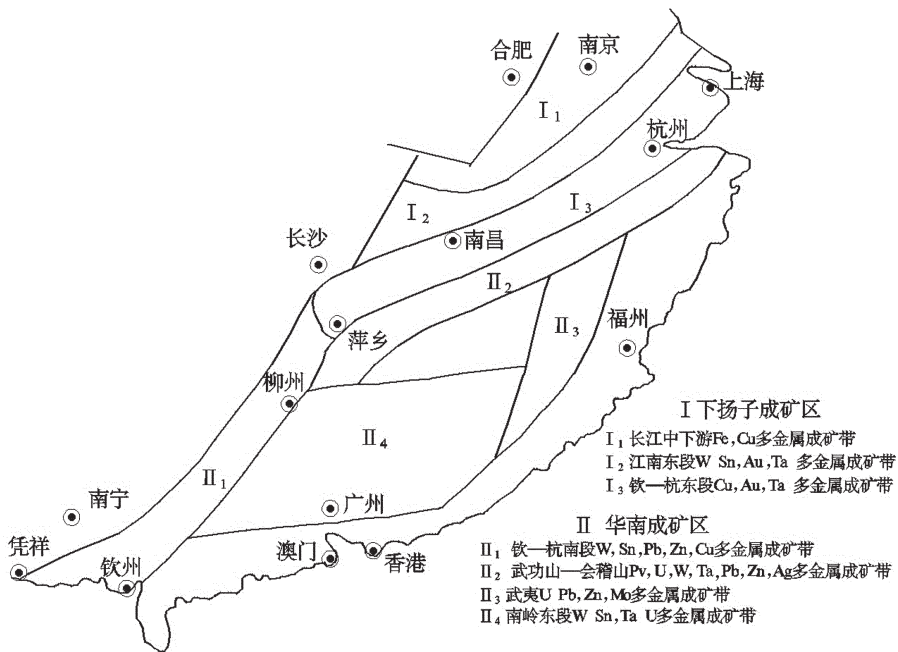


图 14 中国东南陆区晚中生代主要金属矿产成矿带分布图  
Fig.14 Distribution of Late Mesozoic metallogenic belt in Southeast China continental area

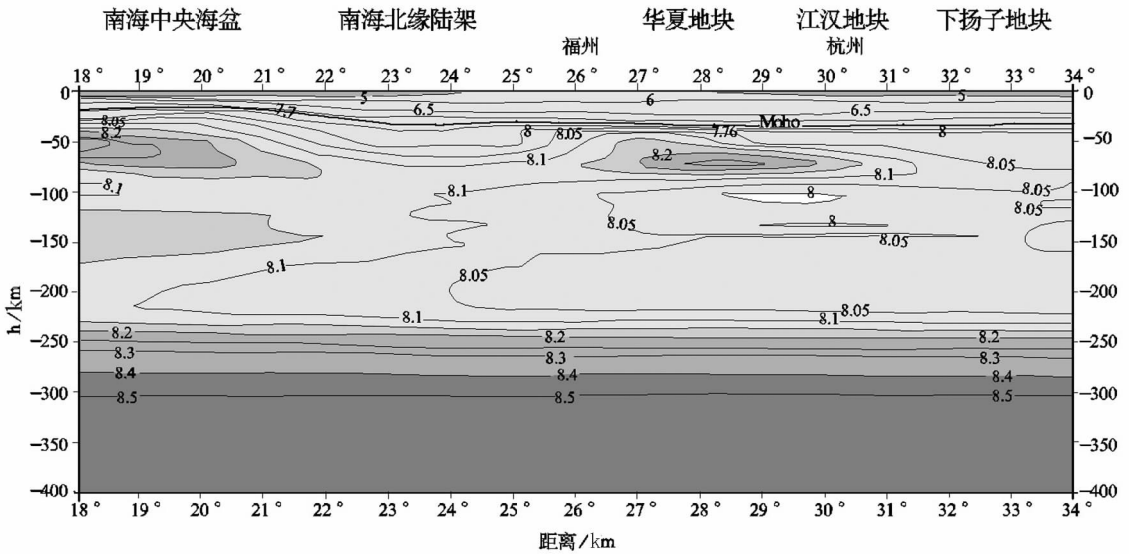


图 15 沿东经 120°速度(km·s<sup>-1</sup>)剖面图  
 Fig.15 Section of 120°velocity (km·s<sup>-1</sup>) along the east longitude

不连续带南侧为东南造山带前缘的仰冲隆起带,也是一条壳熔火山岩、深成花岗岩带,形成一条重要的铀钨钼锡银铅锌成矿带,拥有柿竹园、瑶岗仙、诸广山、锡田、浒坑、新坊、徐山、下桐岭、相山、盛源、冷水坑、五部等数十处特大型和大型矿床、矿田。

(3)南岭东段的赣闽粤地区是中国也是全球最重要的钨锡铀钼多金属成矿区,燕山期时是一个隆起区,其岩石圈特征为薄壳硬幔区。该区首先是一个世界级的壳型钨(锡)地球化学块体;其次,为地壳次—中强减薄区,且地壳硬化程度比下扬子地块稍弱,又处大陆东南部,是中生代陆内造山最强烈的地区,形成了以南岭为中心的花岗岩区,其东南部是花岗岩、陆相火山岩区。成矿花岗岩以南岭型壳熔花岗岩为主;第三,岩石圈地幔中有一个饼状硬质块体(图 8),导致地幔软流圈虽然大量向地壳供热,形成大量壳熔岩浆,而未能提供铜、铬、镍等地幔成矿物质。隆起区内的闽东南、粤北等小型拗陷,幔质明显软化,则有扬子型同熔中酸性岩浆和铜多金属矿形成。值得注意的是,在黑水—泉州剖面,袁学诚等在闽西南拗陷的宁化—大田间(图 5),厘定了一个小型的蘑菇云构造,很可能与上杭紫金山铜金矿、连城姑田钨铜矿、会昌红山铜矿等矿床的深源岩浆热流体的成矿活动有关,值得进一步研究。

(4)东南沿海地壳、岩石圈减薄区是一个金属成矿的弱化带,这是东南陆缘成矿作用的一个显著

特征。

(5)成矿的构造环境:区域成矿特征与众多矿田构造研究表明,东南陆区燕山期大规模金属矿产成矿,一是需要有一个较长时期的岩浆分异演化环境,区内多数重要的矿集区、矿田或矿床,形成于中晚侏罗世—早白垩世早期的构造—岩浆—成矿区。二是需要一个总体处于挤压扭动状态和较为封闭的构造环境,以利于岩浆期后成矿气流体的集聚、充填交代。大量重要矿床就位于地壳挤压扭动区的局部拉张环境。至于大量产于韧性剪切带或挤压破碎带的蚀变岩型金、银矿床,其成矿构造条件更是不言而喻了。中国东南沿海地带,由于花岗质岩浆活动发生较晚,主要形成于燕山晚期。而且由于陆内造山引发地壳向沿海蠕变,于早白垩世中晚期,已向伸展环境转变,虽然形成了大量花岗岩、火山岩,地壳开放性过大,未能造成金属矿质大量堆积。

### 3.2 喜马拉雅期大陆伸展作用

东南陆区于早白垩世晚期(95 Ma 左右),岩石圈开始由造山向伸展转型,随造山作用衰减,岩浆物质枯竭,热力消散,上壳增厚,下、中壳物质空虚,地壳发生崩坍,断陷成盆,幔质上涌,红层盆地及其周边往往有玄武质岩浆喷溢,并有少量似金伯利岩形成。在中大型盆下方形成了幔隆或小型幔枝。盆地地壳进一步减薄。这场伸展—热事件,导致较广的热水成矿活动。形成了萤石、重晶石等矿产。特别是一些

富铀火山岩、花岗岩、黑色页岩,铀元素受热水淋积发生二次富集,是东南陆区重要的铀矿成矿期。

东南陆区晚白垩世的地壳伸展,受到了来自台湾岛弧造山带的影响,沿台湾玉里带发生的板块碰撞,发生时期为(79±7) Ma<sup>[25]</sup>,使福建沿海逐渐转变为轻度压缩环境,结束了断陷活动,晚白垩世盆地主要发育于武夷山脉及其以西,至古近纪盆地又向西迁移至赣江一带。

这一时期岩石圈进一步减薄。根据现今地壳浅表状况,燕山期形成的深成花岗岩已剥露出地表,说明燕山期后上地壳已剥去 3~5 km。区内下地壳由于塑性强,在燕山造山期地壳向沿海蠕动时和喜马拉雅伸展期都可能被拉薄,所以厚度特薄,中壳由于壳层重熔,向上壳迁移,厚度也会减薄。中下壳至少也减薄了 5~6 km,如此推算燕山期时地壳厚度在下扬子区当有 45~50 km,华南区也在 40 km 以上。

**致谢:**本文在写作过程中曾多次向袁学诚教授请教,受益良多,龙梅同志帮助英文翻译,李木香、王会敏同志帮助制作图件,在此谨表感谢。

## 参考文献 (References):

- [1] 李廷栋. 中国岩石圈构造单元[J]. 中国地质, 2007, 34(4):700-710. Li Yandong. Tectonic element of lithosphere in China [J]. Geology in China, 2007, 34(4):700-710(in Chinese with English abstract).
- [2] 朱介寿, 蔡学林, 曹家敏, 等. 中国华南及东海地区岩石圈三维结构及演化[M]. 北京:地质出版社, 2007:67-257. Zhu Jiushou, Cai Xuelin, Cao Jiamin, et al. 3D structure and evolution of Lithospheric crust in South China and East China Sea regions[M]. Beijing:Geological Publishing House, 2007, 67-257(in Chinese with English abstract).
- [3] 肖庆辉, 邱瑞照, 伍光英, 等. 中国东部中生代软流圈上涌造山作用[J]. 中国地质, 2007, 34(4):730-749. Xiao Qinhui, Qiu ruizhao, Wu Guangying, et al. Upwelling orogenesis of Mesozoic rheosphere [J]. Geology in China, 2007,34 (4):730-749(in Chinese with English abstract).
- [4] 袁学诚. 再论岩石圈地幔蘑菇云构造及其深部成因[J]. 中国地质, 2007, 34(5):737-758. Yuan Xuecheng. Mushroom structure of the lithospheric mantle and its genesis at depth: revisited [J]. Geology in China, 2007, 34(5): 737-758(in Chinese with English abstract).
- [5] 谢国刚, 尹国胜. 江西庐山发现古元古代结晶基底 [J]. 中国区域地质, 1996, (4):17-26. Xie Guogang, Yin Guosheng. Discovery of Paleoproterozoic crystalline basement in Lushan, Jiangxi [J]. China Regional Geology, 1996, (4):17-26(in Chinese with English abstract).
- [6] 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 锆石 U-Pb 年龄 [J]. 地质通报, 2008, 27(10): 1744-1751. Gao Linzhi, Yang Minggui, Ding Xiaozhong, et al. Zircon SHRIMP U-Pb age of tuff in Shuangqiaoshan Group and Heshangzhen Group of South China [J], Geological Bulletin of China, 2008, 27(10):1744-1751(in Chinese with English abstract).
- [7] 王剑. 华南新元古代裂谷盆地沉积演化 [M]. 北京:地质出版社, 2000. Wang Jian, Sedimentary evolution of Neoproterozoic rift basin in South China [M]. Beijing:Geological Publishing House, 2000 (in Chinese).
- [8] 杨明桂, 梅勇文, 周子英, 等. 罗霄—武夷隆起及郴州—上饶拗陷成矿规律与预测[M]. 北京:地质出版社, 1998. Yang Minggui, Mei Yongwen, Zhou Ziying, et al. Luoxiao—Wuyi uplift and ore-forming regularity and prediction of Chenzhou—Shangrao depression[M]. Beijing:Geological Publishing House, 1998 (in Chinese).
- [9] 李献华, 周国庆. 赣东北蛇绿岩的离子探针锆石铀铅年龄及其构造意义[J]. 地球科学, 1994, 23(2):125-131. Li Xianhua, Zhou Guoqing, et al. Zircon U-Pb age of ion microprobe of ophiolite in Northeast Jiangxi and its structure significance [J]. Geochemistry, 1994, 23 (2): 125-131 (in Chinese with English abstract).
- [10] 舒良树, 施央申, 郭令智. 江南中段板块—地体构造与碰撞造山运动学[M]. 南京:南京大学出版社, 1995. Shu Liangshu, Shi Yangshen, Guo Lingzhi, et al. The Late Proterozoic plate tectonic evolution and kinematics of collisional orogeny in the Middle Jiangnan, Eastern China [M]. Nanjing: Nanjing University Press, 1995(in Chinese).
- [11] 王椿镛, 丁志峰, 宋建立, 等. 大别造山带地壳 S 波速度结构[J]. 地球物理学报, 1997, 40(3):337-346. Wang Chunyong, Ding Zhifeng, Song Jianli, et al. Shear wave velocity structure in Dabieshan orogenic belt [J]. Chinese Journal of Geophysics, 1997, 40 (3):337-346 (in Chinese with English abstract).
- [12] 陈沪生, 张永鸿. 中国东部灵璧—奉贤(HQ-13)地学断面[M]. 北京:地质出版社, 1993. Chen Husheng, Zhang Yonghong. Geosciences Transect of Lingbi—Fengxian( HQ-13) in East China[M]. Beijing:Geological Publishing House, 1993(in Chinese).
- [13] 袁学诚. 台湾黑水地学断面[C]//中国地球物理学年刊. 北京:地震出版社, 1990. Yuan Xuecheng. Geosciences transect of Heishui, Taiwan [C]// China Geophysical Annual, Beijing:Seismological Press, 1990 (in Chinese with English abstract).
- [14] 国家地震局《深部物探成果编写组》. 中国地壳及上地幔地球物理探测成果[M]. 北京:地震出版社, 1986. Compiling Group of Geophysical Prospecting Results, China Seismological Bureau. Geophysical prospecting results of crust and upper mantle in China [M]. Beijing:Seismological Press, 1986(in

- Chinese).
- [15] 国家地震局地学断面编委会. 1/100 万青海门源至福建宁德地学断面(附说明书)[M]. 北京:地震出版社, 1992.  
Editorial Committee of Global Geosciences Transect, China Seismological Bureau, 1: 1 000 000, Geosciences Transect from Menyuan of Qinghai to Ningde of Fujian [M]. Beijing: Seismological Press, 1992(in Chinese).
- [16] 尹周勋, 赖明惠. 华南连县—博罗—港口地带地壳结构及速度分布的爆炸地震测深结果[J]. 地球物理学报, 1999, 42(3):383-392.  
Yin Zhouxun, Lai Minghui. Results of explosive seismic surveying of crustal structure and velocity distribution in Lianxian—Boluo—Gangkou belt, South China [J]. Journal of Geophysics, 1999, 42 (3):383-392(in Chinese with English abstract).
- [17] 江西省地质矿产厅. 江西省地质矿产志[M]. 北京:方志出版社, 1995.  
Department of Geology & Mineral Resources of Jiangxi Province. Topology of Jiangxi Province: [M]. Beijing:Fangzhi Publishing House, 1995(in Chinese).
- [18] 朱训, 黄崇轲, 芮宗瑶, 等. 德兴斑岩铜矿 [M]. 北京:地质出版社, 1995.  
Zhu Xun, Huang Chongke, Rui Zongyao, et al. The Geology of Dexing Porphyry Copper Ore Field [M]. Beijing:Geological Publishing House, 1995(in Chinese).
- [19] 江西省地质矿产局. 1/200 万中国南岭及其邻区地质构造图说明书[M]. 北京:地质出版社, 1986.  
Bureau of Geology & Mineral Resources of Jiangxi Province. 1:2 000 000 Geotectonic Atlas Manual of Nanling, China and Its Adjacent Regions [M]. Beijing:Geological Publishing House, 1986.
- [20] 陈江峰, 郭新生, 汤家富, 等. 中国东南地壳增长与 Nd 同位素模式年龄[J]. 南京大学学报(自然科学), 1999, 35(6):649-658.  
Chen Jiangfeng, Guo Xinsheng, Tang Jiafu, et al. Crustal accretion and Nd isotopic model age of Southeast China [J]. Journal of Nanjing University (Natural Science ), 1999, 35 (6):649-658(in Chinese with English abstract).
- [21] 邓晋福, 赵海玲, 莫宣学, 等. 中国大陆根—柱构造—大陆动力学的钥匙[M]. 北京:地质出版社, 1995.  
Deng Jinfu, Zhao Hailing, Mo Xuanxue, et al. Key of Continetal root—prism structure—continetal kinetics of China [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1995(in Chinese).
- [22] 李四光. 地质力学概论[M]. 北京:地质出版社, 1973.  
Li Siguang. Concise of Geomechanics [M]. Beijing:Geological Publishing House, 1973(in Chinese).
- [23] 杨明桂, 曾勇. 中国东南部几个区域地质问题 [C]//加强地质工作促进可持续发展(文集)—2006 年华东 6 省 1 市地球科学论坛.南昌:江西科学技术出版社, 2006:1-9.  
Yang Minggui, Zeng Yong. On several regional geological issues in the South-East China [C]// Strengthen the Geological Work & Promote the Sustainable Development—2006 Geo-scientific forum of Six Provinces and One Municipality in East China NanchangJiangxi Science and Technology Publishing House, 2006:1-9(in Chinese).
- [24] 杨明桂. 江西燕山期构造演化形式[C]//国际大陆岩石圈构造演化与动力学讨论会论文集. 北京:地质出版社, 1990.  
Yang Minggui. Yanshanian tectonic evolution morphology of Jiangxi [C]//Thesis—Symposium on tectonic evolution and dynamic types of lithosphere crust in global continent. Beijing: Geological Publishing House, 1990(in Chinese).
- [25] 福建省地质矿产局. 台湾省区域地质志[M]. 北京:地质出版社, 1992.  
Bureau of Geology & Mineral Resources of Fujian Province. Regional Geology of Taiwan Province [M]. Beijing:Geological Publishing House, 1992.

## Lithospheric structure and large-scale metallogenic process in Southeast China continental area

YANG Ming-gui<sup>1</sup>, HUANG Shui-bao<sup>1</sup>, LOU Fa-sheng<sup>2</sup>, TANG Wei-xin<sup>1</sup>, MAO Su-bin<sup>1</sup>

(1. Jiangxi Bureau of Geology and Mineral Resources Exploration and Development, Nanchang 330002, China;

2. Geological Survey of Jiangxi Province, Nanchang 330201, China)

**Abstract:** Based on regional geology, mineral geology and geophysics in combination with researches on the lithosphere and the earth's interior, the authors studied the variation of the crustal thickness of such geological bodies as block, orogeny, paleoplate suture zone (conjunction zone), uplift zone, depression belt and fault basin as well as that of the mass structure, Moho form and the lithospheric mantle in Southeast China continental area, carried out structural regionalism, discussed in detail the Yanshanian intracontinental orogenesis and the Himalayan continental extension as well as the process leading to the adjustment of lithospheric mass structure, and formulated an adjustment model for uplift and depression structural differentiation and crust-mantle mass structure. In addition, the thinning process of the crust at depth was investigated, and the dynamic mechanism of Yanshanian intracontinental orogeny as well as the large-scale ore-forming process in relation to the lithospheric mass structure was analyzed.

**Key words:** lithosphere; mass structure; intracontinental orogeny; continental extension; dynamic mechanism; ore-forming process

---

**About the first author:** YANG Ming-gui, male, born in 1933, senior engineer and professor, mainly engages in the survey of regional geology, exploration of mineral resources and study of geoscience; E-mail: yangminggui33@163.com.