

# 长江中下游地区成矿地质背景分析

储国正

(安徽省地质矿产勘查局, 安徽 合肥 230001)

**摘 要:** 对近十多年来不同研究者对长江中下游地区成矿地质背景研究的最新成果进行了系统总结和分析, 重点总结了该区区域构造格架、壳幔结构、变质基底等地质构造环境, 构造、沉积、岩浆作用、地质流体及区域成矿地球化学特征等主要控矿和成矿地质因素, 区域成矿规律及成矿模式, 这对深化该区的成矿作用和成矿规律研究具有重要意义。

**关键词:** 地质背景; 构造环境; 成矿规律; 成矿模式; 长江中下游地区

**中图分类号:** P542<sup>-4</sup>      **文献标识码:** A

## 0 引言

长江中下游是中国东部环太平洋外带中一条十分醒目而独具特色的向南突出的弧形陆内铁、铜、金、多金属成矿带, 是我国最重要的金属成矿带之一, 同时也是我国著名的工业走廊。该区已探明的有色、冶金、化工、建材等矿产资源居全国显著地位。如该区已探明的大中型铜矿约有近 30 处, 总金属量近千万 t, 约占全国总储量的 30%<sup>[1]</sup>。该区金矿床(点)也广泛分布, 类型多样, 已探明金矿储量可以与我国一些重要金矿成矿区(带)相媲美, 从某种意义上看, 亦可称之为金矿成矿带<sup>[2]</sup>。长江中下游地区的铁、铜、金、多金属成矿作用是继印支运动扬子陆块与华北陆块拼贴碰撞和与其相对应的深部幔隆带背景上形成的燕山期构造—岩浆—成矿带。成矿带的构造特点是以强烈褶皱为基础, 以 EW 向和 NE-NNE 向断裂系统为骨干, 以推覆、伸展构造系统为特色, 以隆凹构造为分区的构造格局<sup>[3]</sup>。

几十年来, 地矿、冶金、有色等部门的地质队及有关院校和科研单位, 先后在长江中下游地区进行过大量的矿产地质勘查和科学研究, 取得了丰硕成果和资料。国内一些著名矿床学家, 如: 谢家荣、孟宪民、徐克勤、郭文魁、郭宗山、涂光炽、陈毓川、翟裕生、常印佛、胡受奚、王之田、任启江等都在本地区做过研究工作, 尤其是“六五”期间的成矿区划, “七五”、“八五”期间的两轮国家科技攻关, 在与成矿带有关的基础地质、矿床地

质、成矿规律等方面的研究取得了许多理论成果。本文在学习前人成果的基础上, 拟对该区区域成矿基底特征及地球动力学背景、成矿控制因素、成矿流体及成矿作用地球化学、成矿系列及成矿规律等方面加以总结和分析。

## 1 地质构造背景

长江中下游地区地跨武汉—上海的广大沿江地区及毗邻山区, 在地质历史上经历了长时期的构造演变, 到中生代晚期开始则是欧亚大陆板块内部的构造活动带。其构造的发展演化和成岩成矿作用的发生主要与中生代板块运动有密切关系。

### 1.1 区域构造格架

过去研究中, 很少有人将长江中下游成矿带与大别造山带加以联系, 常印佛、翟裕生等(1995)在“八五”科技攻关中, 首次应用造山带理论, 将二者有机联系起来进行系统研究, 将长江中下游地区划分为: 桐柏—大别造山带、前陆带及江南隆起带 3 个构造单元。其中前陆带又进一步分为前陆褶冲带、前陆盆地及南缘过渡带 3 个次级构造单元<sup>[4]</sup>。对安徽沿江地区也做了相应的构造单元划分。前陆褶冲带构造复杂, 褶皱多为紧闭同斜倒转褶曲, 倒转翼冲断层发育, 构造走向均向南东。卷入地层均为 Z-T<sub>1</sub>, 属前陆强变形域; 前陆盆地为 T<sub>2</sub>-J<sub>2</sub> 沉积堆积区, 内部有次级隆起和拗陷及两者过渡区, 它们在平面上呈斜列相间排列; 属中等变形域。这种格局对区内成矿及其矿化特征具有特殊控制意义; 南缘过渡带北侧表层以一系列向

南东突出的弧形褶皱与滨江盆地相接,南侧与江南隆起带相邻。该带以线性褶皱为主,伴有冲断层,主构造面向南倾,显示来自南西的江南隆起的反向挤压作用,为区内弱变形域。

## 1.2 壳幔结构

区域地质和地球物理资料表明,长江中下游地区壳幔有明显的层状结构。根据下扬子 HQ-13 线(灵璧—丰贤)地球物理—地质综合解释成果<sup>[5]</sup>和麻城—九宫山大地电磁测深资料(陈沪生, 1989)对比分析,该区岩石圈可划分为 6 层、6 面(拆离面)和 3 个均衡调节层。6 个滑脱面是各层受力后构造变动和变形的界面,3 个均衡调节层是控制圈层底部的均衡调节层最为重要。壳幔层状结构的各层在宏观上是近似均质的,微观上非均质的,各向异性的。长江中下游成矿带对应于一个地幔上隆带,且与升高磁场吻合很好,而后者则是中生代中—基性岩浆活动的反映。因此,长江中下游成矿带的形成与本区壳幔结构的特征及其演化密切相关。

### 1.2.1 地幔隆起

长江中下游成矿带对应于地幔隆起带。其主要依据有:a. 新一代重力资料和部分大地电磁测深资料分析结果表明,该区显示地幔上隆。莫霍面总的形态具中间隆起、南北拗陷并具波状起伏的特征。莫霍面深度,隆起带西自湖北汉川为 30km,向南东延伸至黄石为 31km,到广济东为 NE 向延伸,在安徽沿江深度为 30~32km,处于幔隆部位,南北两侧是幕阜山、石台—黄山和大别山。区内大部分矿田分布在地幔隆起部位;b. 岩浆岩研究资料及航磁资料显示,沿江一线为构造—岩浆活动集中地带,岩浆岩地球化学资料表明,本区岩浆岩具有深源成分;c. 沿江两岸分布  $T_2-J_2$  沉陷带,按镜像原理也反映了地幔上隆。以上表明,长江中下游地区中生代后存在幔隆。

### 1.2.2 地壳内部结构特征——“三层结构”

通过对航磁资料的滤波处理,在安徽沿江地区地壳内部存在“三层结构”的特征。在波长>70km 的滤波图上,反映上、下地壳界面附近(约 20km),以鼎足而立的 3 个深部岩浆活动中心为代表的深部结构;在波长 40~70km 的滤波图上,反映上地壳内部(10km)以下以 4 条 N(N)E 向断裂及 N(W)W 向交切断裂为代表的线性网络状中部控岩控矿结构;在波长<40km 的滤波图上,反映浅部(10km 以上)主要盖层部位在网络构造背

景下,发育了 3 个环带构造以及夹持于其间的“口”字形构造为特征的浅部控岩控矿结构。它们可能代表在垂向上韧性—脆性—脆性三种构造变形层次的垂向分布。这种“中心式”—“网络式”—“环带式”在空间上又基本重合,构成了“圣诞树”式控岩控矿结构,这是长江中下游地区的一大特色。

## 1.3 变质基底

长江中下游地区前震旦系变质基底地表很少出露,目前仅在安徽怀宁和江苏埭城见到,分别称董岭群和埭城群,同位素年龄分别为  $1.895 \times 10^3$  Ma 和  $1.771 \times 10^3$  Ma(江苏省地矿局, 1989)。地球物理资料(陈沪生, 1988;季秀新等, 1992)及侵入岩的铅、锶、铷同位素组成研究显示<sup>[6, 7, 8, 9]</sup>,长江中下游地区的基底具明显的分区特点,分别对应于张理刚等(1993, 1995)划分的洪泽太湖构造同位素地球化学省和下扬子构造同位素地球化学省。铅同位素年龄多数大于  $2.6 \times 10^3$  Ma, 钆同位素模式年龄变化于  $(1.751 \sim 2.244) \times 10^3$  Ma 之间,峰值为 18~20 亿年;皖南、赣东、赣西北、大别山等邻区沉积(变质)岩(基底)的模式年龄为  $(1.522 \sim 2.900) \times 10^3$  Ma 之间(陈江峰等, 1989, 李献华, 1990;凌洪飞, 1992),说明长江中下游地区 18 亿年前早元古代地壳已初步形成,中元古代地壳继续增生,而晚元古代地幔分异新地壳形成的比例较小,变质基底本身具“双层结构”,部分地区可能具“三层结构”<sup>[10]</sup>。通过董树文等(1995)的研究,将长江中下游地区基底划分为 3 大类和 5 种结构形式。唐永成等(1998)<sup>[11]</sup>将安徽沿江及邻区基底划分为 3 种类型(表 1),即华北、大别、扬子基底。安徽沿江主要为扬子基底,分两种结构类型:北部为“董岭式”,大致分布在沿江及其北侧,在怀宁出露的中元古界董岭岩群具“双层结构”,下部为片麻岩段,可能代表区内结晶基底,上部为片岩段,可能代表褶皱基底。南部为“江南式”,在皖南出露的基底有两套岩石地层单位,即中元古界上溪岩群、新元古界历口群和井潭组。在上述二者之间,大致在望江—贵池—芜湖与东至—青阳—宣州之间存在“过渡式”基底,安徽沿江成矿带主要对应在“董岭式”基底上,南矿带则对应在“过渡式”基底上。

## 1.4 构造演化及成矿构造环境

根据本区地层的接触关系、沉积建造、变质作

表1 安徽沿江地区基底及邻区基底对比表

Table 1 Comparison of basements between the area around the Yangtze River and the neighboring area in Anhui

地区 时代	桐柏—大别区		扬子区			
	湖 北	安 徽	安 徽	江 苏	江 西	安 徽
Pt <sub>3</sub>	耀岭河群 随县群	张八岭(岩)群	董岭 片岩段 -? -	埤城(岩)群	落可寨组	历口群
Pt <sub>2</sub>	红安群	宿松(肥东)(岩)群	片麻岩段		彭山群(?) 九岭群/双桥山群	上溪(岩)群
Pt <sub>1</sub>	大别杂岩	大别(阚集)杂岩			星子杂岩(?)	

用、构造变形特征,以及古地磁等资料,可将长江中下游成矿带及其毗邻地区的大地构造发展分为 3 个阶段: a. 基底形成阶段(前震旦纪); b. 板块迁移及沉积盖层发育阶段(震旦纪—古生代末); 和 c. 板内变形阶段。每个阶段内包括若干个构造运动,并形成相应的构造层和构造亚层。

长江中下游地区经历了自吕梁旋回到加里东、海西、印支、燕山及喜山旋回的发展过程。其中,海西构造旋回的石炭纪主要表现为海侵,多处见火山碎屑岩和熔岩,区域为一拉张断陷盆地,受同生断裂控制(岳元浙、业治铮, 1993),成矿背景为一拉张—裂解构造环境。进入燕山构造旋回后,翟裕生等(1992)认为长江中下游地区中生代的成岩成矿作用位于板内断块岩浆活动带构造环境<sup>[12]</sup>,董树文等(1993)强调主体属前陆挤压环境,陈衍景等(1997)主张为碰撞造山作用的挤压拉伸转变期<sup>[13]</sup>。顾连兴(1990)提出长江中下游为初期裂谷,胡受奚等(1995)、李文达等(1996)和常印佛等(1997)皆认为这些矿床形成于拉张的构造环境。总之,本区的中生代成矿作用主要发生于张性或向张性过渡的构造环境下。

## 2 区域成矿控制因素

长江中下游地区铁、铜、金多金属矿床的形成与保存受多种因素综合制约,包括构造、地层、岩浆及成矿流体、成矿作用地球化学等因素。这方面前人研究成果较多,在此仅对最新进展和认识做一归纳。

### 2.1 构造与成矿

#### 2.1.1 深大断裂系统

通过前人研究,认为本区断裂构造十分发育,主要有 EW、NWW、NNE、NE、NW 等多种方面。构造是控制长江中下游成矿带总体地质特征和地史演化的主导因素,也是控制本区岩浆活动与矿床形成的主要因素之一。大量研究(常印佛等, 1991; 董树文等, 1993)表明,不同形式、不同级次和不

同规模的构造形成了控制长江中下游成矿带及其中成矿区、矿田、矿床乃至矿体的“立体网络构造系统”。长期构造运动形成多期、多性质和多方面的构造要素,包括深断裂(岩石圈断裂、壳断裂)、断块构造、滑脱推覆构造、构造破碎带以及火山—侵入机构等,构成长江中下游构造带整体特征。通过“八五”国家科技攻关研究<sup>[4]</sup>,进一步厘定了区内的深大断裂系统。其中最主要的有:(1)作为造山带与前陆带分布的有:安徽的 NNE 向黄破断裂,控制安徽沿江北部岩浆岩带,湖北境内的 NW 向襄广断裂;作为前陆带南界的断裂有:NE 向高坦断裂(皖)和江南断裂(苏),因其切割深度大,通常称之为岩石圈断裂。(2)控制区内燕山期岩浆岩和矿带分布的断裂主要有:NE 向的滨江断裂带(皖苏)及近 EW 向金山店—阳新一瑞昌断裂带,另一条是江南东流—铜陵—马鞍山—南京断裂。另外还有 NW 向桐城—庐江—铜陵—南陵断裂及南京—溧阳断裂,这些断裂几乎控制了长江中下游岩浆成矿带的主体。

研究资料表明,下扬子区有两条大型追踪断裂带,一条是长江追踪断裂带,由怀宁—庐枞和桐城—庐江—铜陵及铜陵—马鞍山—南京断裂追踪而构成“Z 形断裂带,构成沿江构造岩浆的大部成矿带;另一条是由高坦—周王—江南断裂的部分地段追踪而成,构成了江南构造岩浆岩带。

#### 2.1.2 推覆与伸展构造

本区推覆构造可分为早、晚两期:早期推覆构造发生在印支期末,多与斜转褶皱伴生,为褶皱冲断层带,影响地层为前侏罗系。在宿松、怀宁、巢县、滁州、苏州等地均有分布(薛虎, 1990; 涂荫玖, 1999)。晚期推覆构造主要发生在燕山期,多为低角度逆推断层,常有南东向北西推掩,冲断面与褶皱轴面斜交,常由中生带地层构成下推覆体,古生代构成上推覆体,在铜陵、怀宁等地可见。

伸展构造发生在燕山中晚期,在区域挤压环

境下造成差异升降后,在断块隆起带上产生一系列层间剥离断层和褶皱岩层断拗边缘滑移,形成滑覆构造。铜陵、九瑞、大冶、阳新等地均有分布。

由于不同时期推覆、伸展构造在不同地区相互叠加,即使构造面貌变得复杂,也为中生代岩浆侵入活动和成矿提供了有利构造环境。

## 2.2 沉积作用与成矿

长江中下游成矿带沉积作用与成矿关系研究近来的主要进展表现在:沉积盆地的演化、岩性、岩相及古地理环境与矿化富集;地层的地球化学特征及地层含矿性;“膏盐层”及有机质与铁铜硫金成矿的关系等方面。

### 2.2.1 沉积盆地演化与成矿

据吴顺宝,金福全等(1995)对区内 C、P、T 海盆分析,认为长江中下游成矿带所处的古地理位置主要在台地与斜坡过渡地带,是一个有利于沉积物质堆集的区域。C、P、T 海盆的演化经历了盆地初始形成期( $D_{3w}-C_{1j}$ ),扩展期( $C_{2h}-C_{2c}$ ),分异期( $P_{1g}-P_{2d}$ ),充填收缩期( $T_{1y}-T_{2d}$ ),共经历了 7 个二级层序,4 个成煤期,即早石炭世的测水煤系、早二叠世早期的梁山煤系、晚二叠世早期的龙潭煤系及晚三叠世的安源煤系。盆地的形成以伸展裂陷构造作用为主导,并构成了一个由伸展裂陷、隆升拆离,收缩造山的一个完整构造旋回,断裂特别是同生或准同生断裂作用控制了盆地的结构演化,众多的滑覆—拆离界面与断裂的结合,为盆地成矿提供了成矿流体运移、成矿组分的交换与储集的有利环境。海盆演化与成矿有密切关系,表现在(1)伴随沉积作用区域分异,成矿元素在特定时间和空间预富集形成矿源层;(2)海平面升降形成了有利于赋矿的岩层及岩石组合;(3)伴生海进、海退出现的假整合及岩性界面,为容矿提供了有利构造部位。沉积成矿或成矿物质预富集的主要层位有:早石炭早期“茨山组”、高骊山组铁矿层,晚石炭早期黄龙组底部碎屑岩段铁、硫矿层或含矿层;二叠纪孤峰组的锰、铜矿层和大隆组的钼预富集层;三叠纪大冶组硫铁矿层和铅锌含矿层,以及周冲村组的铁矿层。

据倪若水,吴其切等(1995)对区内 T、J、K 陆盆的研究,可将陆相盆地分为 4 种类型:(1)拗褶型盆地( $T_2-T_3$ );(2)山间凹陷盆地( $J_1-J_2$ );(3)断凹型火山沉积盆地( $J_3-K_1$ )及(4)断陷—拗陷盆地( $K_2$ )。区内火山盆地可分为两大类型:(1)继承式火山盆地(如宁芜、庐枞

等);(2)上叠式火山盆地(如繁昌、句容、溧阳等)。区内陆盆演化经历了海退期( $T_2$ )—凝缩期( $T_3$ )—扩展期( $J_1$ )—再收缩期( $J_2$ )—转型期( $J_3-K_1$ )—断陷期( $K_2$ )。中三叠世时特提斯海退,海水由东向西撤退,晚三叠世,俯冲地块抬升,印支期末,发生了大规模褶皱,隆升和剥蚀,造成南象运动构造界面;燕山早期,库拉板块向 NNW 对欧亚大陆压扭作用,原来 NW 向的构造被扭转为 NNE-NE 向,使长江中下游地区在 EW 向的构造背景上叠加了 NNE 向隆凹构造格局,并演化成凹陷型山间盆地。燕山中期构造岩浆活动增强,发生大规模推—滑构造;燕山末期,太平洋板块对中国大陆作用,发生了大规模拉分断陷,形成了单断或双断式翼状断陷—拗陷盆地。陆盆演化与成矿关系较密切: $T_2^1$  扬子海萎缩,含 Fe、Pb、Zn 等金属流体向区域盆地中运移,形成膏盐建造和富铁碳酸盐建造; $T_2^2$  三角洲古地理环境形成含 Cu 砂岩; $T_3$  沼泽相煤层; $J_1$  在南象山组底部形成 U 矿层,在不整合面上形成 Pb、Zn 矿; $J_3-K_1$  受太平洋板块影响,是火山—侵入活动高峰期,卤水流体参与成矿作用,形成 Fe、Cu、S 矿床; $K_2$  的拉分盆地形成巨厚膏盐层。

### 2.2.2 地层地球化学特征及地层含矿性

常印佛等(1991)、翟裕生等(1992)详细测定和计算了长江中下游地区地层成矿元素含量及地层中各组、各类岩石中化学元素的丰度及成矿元素组合,表明 Cu 主要富集在  $P_{2d}$  硅质岩、 $T_{2d}$  和  $T_{1n}$  及  $C_{2h}$  的碳酸盐岩中,Au 主要集中在三叠纪碎屑岩、 $C_{2h}$  底部碎屑岩和  $S_{1g}$  泥岩中。尽管各地赋矿层位不同,但长江中下游铜金多金属矿床主要赋存于 3 个层位:晚石炭世黄龙组、早二叠世栖霞组及早三叠世大冶群和中三叠世东马鞍山组。随着层状火山碎屑岩的不断发现,有人提出了海底火山作用或热水沉积作用在铜、金矿床形成中的作用。

### 2.2.3 膏盐层与成矿关系

“膏盐层”与成矿的关系自蔡本俊(1977、1978、1980)首先提出蒸发岩(膏盐层)—岩浆作用—铁铜矿床存在内在的联系,一直处于争论状态。胡文宣等否认盐层能为成矿提供  $Na^{[14]}$ ,吴言昌等(1988),邢凤鸣等(1991)认为 Na 来自于岩浆本身。近年来的大量研究(范洪源等,1995;郭佩霞等 1991;蔡本俊等,1993)表明,长江中下游地区下、中三叠世膏盐层广泛分布,它即为岩浆侵位、矿石沉淀提供有利场所,又为成矿提供金

属元素及 Na 质、挥发组分、矿化剂和足够的硫源。

#### 2.2.4 “生物—有机质—流体”成矿作用

生物、有机质在层控多金属矿床形成过程中起到了一定作用,吴顺宝等(1995)对南京栖霞山铅锌矿床的研究表明,在矿床的形成改造过程中,生物、有机质及含有机质流体起了重要作用,其中菌藻生物积极参加了沉积—成岩期间部分黄铁矿的形成及铅锌的预富集;同时有机质及含有机质流体富含氨基酸的流体在活化、萃取成矿元素如:  $\text{Fe}^{2+}$ 、Cu、Pb、Zn 等的能力方面比一般的无机流体或含其它非有机酸有机质的流体要强,很可能富含氨基酸的流体对 Pb、Zn 的活化、迁移起作用,而含芳香族化合物和硫化氢的流体对 Pb、Zn 起沉淀作用。有机成矿模式为:在沉积—成岩早期,生活在海盆中的各种藻类吸收海水中的 Pb、Zn 等成矿元素,死后沉积下来,使 Pb、Zn 在地层中得以预富集,细菌一方面形成了黄铁矿,为最终部分硫化物的沉淀提供了区域上的高碳层(Z- $\epsilon$ ,  $\text{C}_1$ , P, T 等),另外较干热的时期则沉淀了石膏( $\text{C}_2$ ,  $\text{T}_1$ - $\text{T}_2$ )。岩浆期后热液及各种来源的流体受热作用在这些高碳层中不断淋滤、循环,演变成富含有机质的流体,并不断萃取围岩中的 Pb、Zn,最终演化成为一种富含成矿元素及有机酸的热流体。这些流体沿着构造空间迁移,当遇到黄龙组等白云岩时,其中的活泼元素加入到流体中,大大改变流体性质,等有机质与石膏反应时形成硫化氢,致使方铅矿沉淀,最终在黄龙组形成矿床。

### 2.3 岩浆作用与成矿

长江中下游中生代岩浆岩,出露面积大于  $0.2\text{km}^2$  的岩体约 260 个,连同次火山岩区,总面积达  $20000\text{km}^2$ 。区内大多数内生铜、铁、金多金属矿床均与燕山期中酸性侵入岩紧密伴生,成带分布,分区集结。

近年来,诸多学者对长江中下游地区与成矿有关的岩浆岩进行了系统研究,在岩浆岩成分特点、成岩时代、岩浆的来源、形成及演化机制、岩浆岩的分布特征、岩浆岩的系列划分及其含矿性、岩浆动力学与成矿等方面取得了重要进展。

#### 2.3.1 侵入岩的岩石化学特征和形成年代

区内岩浆岩岩石类型较多,但均属广义花岗岩类;  $\text{SiO}_2$  含量变化较大,为 50%~76%;全碱含量变化于 6%~9%之间,总体说来岩石的碱含量偏高;岩石的  $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$  比值为 0.23~1.31,变化较大,反映

出有关岩石可能属不同的亚系列;就岩石的化学成分看,区内岩石属弱碱质岩系列—钙碱质岩系。岩浆岩稀土总量变化于  $120 \times 10^{-6}$ ~ $360 \times 10^{-6}$  之间,轻、重稀土比为 1.3~9.8,  $\delta\text{Eu}$  为 0.2~1.0,反映在稀土配分曲线上形态差异较大。

长江中下游地区成岩年代学研究取得了重要进展,已积累近百个岩体的 130 多个同位素年龄数据,结果表明区内中生代侵入岩年龄跨度较大,为  $9.0 \times 10^2$ ~ $2.00 \times 10^2\text{Ma}$ ,即从印支期一直到燕山晚期,但侵入岩的主要形成期为晚侏罗世和早白垩世( $1.40 \times 10^2$ ~ $9.5 \times 10\text{Ma}$ )。即使在同一地区的岩体,其同位素年龄变化也较大,反映本区中生代多期多阶段岩浆活动造成的结果。不同成矿系列的岩体同位素年龄不同,说明了成岩成矿具多期性。如以铜为主的成矿亚系列的岩体年龄为  $1.20 \times 10^2$ ~ $1.50 \times 10^2\text{Ma}$ ,以铁为主的成矿亚系列岩体年龄为  $1.10 \times 10^2$ ~ $1.35 \times 10^2\text{Ma}$ ,兼有铁、铜的成矿亚系列岩体年龄介于二者之间( $1.25 \times 10^2$ ~ $1.45 \times 10^2\text{Ma}$ ),而与次火山岩有关的铁矿亚系列年龄更小,为  $1.00 \times 10^2$ ~ $1.20 \times 10^2\text{Ma}$ 。

#### 2.3.2 岩浆岩的来源、形成及演化机制

对于区内岩浆岩的起源与形成,不同学者具不同观点。张邦桐等(1988)研究安—庐正长岩带时,认为它们是原始地幔源岩浆经过相当大程度(46.7%~39.8%)的地壳物质混杂形成的。周涛发等(1993, 1995)认为形成安庆月山地区岩浆岩的原始岩浆为蚀变了的地幔源区不同部分经部分熔融(13.14%~14.11%)形成的碱性橄榄玄武岩质岩浆,在上升过程中与中、上地壳岩石发生同化混染和结晶分异联合作用(AFC 过程)形成的,排除了由麻粒岩相下地壳熔融形成岩浆的可能。陈江峰(1991)、张理刚等(1994)根据铅、锶、钕、氩同位素研究,否定幔源岩浆结晶分异形成岩体的可能性。周珣若等<sup>[15]</sup>提出苏州地区 I 型花岗岩为幔源岩浆与下地壳部分熔融岩浆混合及 AFC 作用的产物,而 A 型花岗岩为下地壳(麻粒岩相)熔融后分离结晶的产物。邢凤鸣、徐祥(1996)研究后认为安徽沿江主带由壳幔混合源型岩浆岩构成,与铜铁硫金等成矿有关的主要为高钾钙碱性岩系和橄榄安粗岩系,南北亚带亦主要为壳幔混源型钙碱性岩系,但其中壳源物质所占比例较大,南亚带中并有地壳重熔型花岗岩与之混合或共生。总之,区内岩浆岩为壳幔混合型,只是不同地区壳、幔成分所占比例不同。区内母岩浆岩不是原始岩浆,而是

碱性的、更基性的原始玄武岩浆同化混染大陆壳物质以后形成的次生岩浆。岩浆在演化过程中,曾经经历分离结晶和同化混染作用。经研究认为,本区中生代的构造环境是大陆板块内的断块和裂陷交织的构造—岩浆—成矿带,它在中生代早期,具造山带性质,晚期则带有准裂谷性质的板内拉张带。

### 2.3.3 岩浆岩的分布、岩石系列及其含矿性

周珣若等(1995)根据本区中生代岩浆活动特点以及与之相对应的主要矿产分布特征,将本区划分为“三铜、三铁”成矿岩带及一个多金属岩带。成铜岩带主要有:冶瑞、铜陵、宁镇,成铁岩带有鄂(城)灵(乡)、庐枞、宁芜,多金属岩带主要分布于贵池—青阳一带。成矿岩带的总体特征是:(1)主要位于地幔隆起带上;(2)成铜岩带呈近 EW 向,成铁岩带呈 NNE 向展布,二者交汇处,铜、铁矿床共存;(3)侵入活动时间主要为  $1.65 \times 10^2 \sim 9.0 \times 10 \text{ Ma}$ , 总体说来,从早到晚岩浆活动由弱到强;(4)岩体侵位成铜岩带以主动式为主,成铁岩带以被动式为主;(5)二者均分布在前陆盆地内,其中成铜岩带分布于隆起区,成铁岩带分布于拗陷和隆起过渡区,多金属岩带分布在前陆南缘过渡带内。

岩石系列的划分标准不同,有不同的分类,根据区内岩石化学特征及 TAS 图解化学分类法,可将区内侵入岩分为钙碱性系列、钾玄岩系列和碱性系列;区内火山岩属橄榄安粗岩系,可分两个组合:即高钾碱性火山岩组合和富钠碱钙性次火山—浅成岩组合。在成矿专属性研究方面,很多学者都曾先后提出长江中下游成矿带中岩浆岩的成分具某些特殊性,胡受奚等(1979)、冯祖钧(1982)、王文斌等<sup>[7]</sup>分别研究了成分特点与铜、金成矿的关系,给出了成矿专属性的多种判别标志。常印佛等(1991)划分出与铁成矿作用有关的富钠闪长岩类和与铜矿成矿作用有关的高钾(花岗)闪长岩类。翟裕生等(1997)将区内岩浆岩划分为三个亚系列,并总结出相应的含矿性:(1)高碱富钾中—酸性岩亚系列,主要形成夕卡岩型、斑岩型铜矿床,有时伴有钼矿化和铁矿化;(2)该碱富钠中—中酸性亚系列,主要形成夕卡岩型铁矿床,伴有铜矿;(3)富钠偏基中性岩亚系列,除了形成玢岩型铁矿外,还有明显的铜矿化。

### 2.3.4 岩浆动力学分析

有些学者对区内岩浆岩动力学进行了有意义的

探索。如周珣若等(1995)计算了岩石与熔浆密度、熔浆粘度、屈服强度等物理参数,估计了成铁岩带、成铜岩带铁山、狮子山岩浆上升速度、冷凝速度及矿物下沉速度。铁山狮子山岩体二长闪长岩的岩浆密度为  $2.4 \sim 2.41 \text{ g/cm}^3$ , 粘度为  $9.63 \times 10^3 \sim 7.48 \times 10^3 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ , 岩浆从深位岩浆房到浅位岩浆房速度为  $2.56 \times 10^{-3} \text{ m/s}$ , 从浅位岩浆房到岩体定位的速度为  $0.02 \sim 0.03 \text{ m/s}$ , 岩浆冷凝时间为 755~1100 年。岩浆从浅位岩浆房(深度约为:铁山 5.58km, 狮子山 6.63km)上升到成岩位置(深度约为:铁山 1.65km, 狮子山 2.97km)需要时间大约为铁山 3422h, 狮子山 4459h。岩浆对流速度为:铁山  $1.53 \times 10^{-4} \text{ m/s}$ , 狮子山  $9.61 \times 10^{-4} \text{ m/s}$ , 说明铁山岩浆房比狮子山岩浆房对流速度快。这些数据对分析区内岩浆分离结晶、岩浆对流及同化混染作用等动力学问题有重要参考作用。杨荣勇等(1993)和周涛发(1993)<sup>[16]</sup>通过成岩矿物化学条件研究,其结果表明长江中下游燕山期侵入体岩浆结晶的水逸度,水压较低,定位深度浅,结晶温度和氧逸度普遍偏高,这种性质有利于铜(金)的成矿作用。周涛发等基于火成岩石学、流体动力学、流体学、传热学和热力学等研究<sup>[17]</sup>, 计算和分析了安徽月山地区岩浆的分凝、上升、对流、定位和结晶等岩浆作用过程的速度与机理,并探讨了岩浆的某些物理性质和动力学行为,如熔体的含水量、水的运动特征、岩浆生长系统、岩浆上升速度和对流状态以及冷却特点等与铜、金成矿作用的联系。

### 2.4 成矿作用地球化学

区域地球化学工作总体来说主要体现在两个方面:一是区域成矿地球化学背景;一是矿床地球化学。

马振东等(1995)在区域基础地球化学研究基础上,在长江中下游及其邻区利用多元示踪元素(常量元素、高场强元素、基性元素、亲氧碱性元素、成矿元素及性质相似的元素比值)和 Pb、Nd 同位素进行不同区域地壳、同一区域地壳内不同级别的地球化学分区,从而厘定了研究区区域地壳的边界,提供了区域远景预测的地球化学依据<sup>[18]</sup>。马振东等(1997)还探讨了本区地壳热结构。通过测制两条贯穿金江的基干剖面,分析了上地壳不同构造层各类 U、Th、K 自发裂变产热元素的质量分数,计算出各结构层热流值、个层配分比例及温度分布;对下地壳,则利用地震波速与热产率、热流

和温度分布的相关性进行了估算,从而建立起长江中下游地区热结构模型。区内地壳热流( $q_c$ )为 $31.27\sim 32.17\text{mWm}^{-2}$ ,占地表热流的 $50.8\%\sim 53.6\%$ ;下地壳在整个地壳流值中所占比例最小(约 $3.0\%\sim 7.5\%$ );地幔热流( $q_m$ )约占地壳热流的一半<sup>[19]</sup>。通过对本区及邻区结晶基底、褶皱基底及花岗岩基成矿元素丰度背景的研究表明:扬子陆块东部上部地壳的沉积作用、变质作用及壳源花岗岩浆作用过程中铜等成矿元素富集微弱,而深源岩浆(火山)作用应是本区铜等成矿元素富集的主导机制<sup>[20]</sup>。

现在越来越多的人应用氢、硫、铅等同位素来研究含矿热液的来源和成因,使矿床学的研究不断深入。李文达等(1996)系统研究了长江中下游铜、金成矿带层状含铜黄铁矿矿床的氢、氧同位素组成,认为该类矿床的成矿流体主要是大气降水和地层水,并有部分海水和岩浆水的混入。与燕山期岩浆侵入活动有关的矿床氢氧同位素数据较多,研究结果皆肯定了岩浆水在矿床形成过程中的主导作用。周涛发等分析安徽月山矿田成矿流体氢氧同位素后认为,与月山岩体有关的夕卡岩型矿床和热液脉型矿床的成矿热液以广义岩浆水为主,铜、金(铁)等成矿物质是从岩浆水和或具复杂演化历史的岩浆水中沉淀的,若主要成矿阶段大气降水比例达 $30\%$ 时,不形成具工业价值的矿化。

长江中下游成矿带所积累的矿床硫同位素数据1000余个。层状含铜黄铁矿床(石炭纪)的硫同位素组成(刘裕庆,1987,1991;王文斌,1994)指示这类矿床的硫主要来自海水硫酸盐的还原<sup>[21]</sup>,部分来自地层和岩浆。区内接触交代型矿床的来源复杂(周涛发等,1994),矿床硫为岩浆硫+(三叠纪及前三叠纪)碎屑岩地层硫+膏盐地层硫,如安庆铜矿中岩浆硫占 $78\%$ ,地层硫占 $22\%$ 。成矿热液体系中硫的转换与获取机制的复杂性及时空上的差异性,反映了围岩及构造条件对成矿热液系统的演化具深刻影响。

很多学者(舒安全,1992;王文斌等,1996;杨学明等,1998;张术根,1994;江苏省地矿局,1987;马振东等,1996)开展了该成矿带矿床铅同位素研究,如马振东等系统地研究了本区及邻区区域各类地质体铅同位素组成背景,结果表明:区域各类地质体铅同位素组成特征是受原始地幔的不均一性、地壳交换的动力学过程,层圈铀、钍、铅丰度及作用发生的时间诸因素控制。通

过区域铅背景分析,可为地球化学分区、示踪物质来源及区域成矿预测提供信息<sup>[22]</sup>。总的看来,铅同位素对指示成矿物质来源具重要意义,并可评价不同地质体对矿床成矿物质的贡献。

## 2.5 地质流体与成矿

地质流体与成矿的关系越来越被人们所重视,不少学者在本区也做了一些有意义的工作。如翟裕生等(1990)将区内流体分为矿浆、矿浆—热液过渡型流体、气化热液(岩浆期后气液流体)和混合热液(岩浆水与大气降水的混合物)等4种,并提出区内存在两个成矿流体系,即(1)与岩浆熔离作用有关的矿浆—热液体系;(2)与岩浆结晶分异作用有关的残浆—气液流体体系。第一种流体对形成铁—磷矿床起主要作用(如鄂东张福山,宁芜凹山铁矿等),后者对形成Cu、Mo、Au及部分Fe矿起主要作用。王杰英(1996)对鄂东铁铜多金属矿床包裹体研究,总结了各类型矿床含矿流体的演化特点和物理化学特征,并提出3点特征作为找矿标志:(1)当矿物中富有 $\text{CO}_2$ 多相流体包裹体时,可作为找金标志;(2)当矿物中含石盐子矿物多相流体包裹体发育且丰度较高时,可作为找铜标志;(3)侵入富钙地层的岩体中 $\text{WO}_3$ 含量高、接触带矿物中含石膏矿物多相流体包裹体丰度较高,可作为寻找夕卡岩白钨矿的找矿标志<sup>[23]</sup>。

任启江等(1995)通过对安徽沙溪斑岩铜矿的类型测定和成分分析,发现其中 $\text{CO}_2$ 含量最高( $36.7\sim 76.3\text{mole}\%$ , $\text{N}_2$ 含量也较高为 $3.3\sim 15.3\text{mole}\%$ ), $\text{CH}_4$ 含量很低,反映与成矿流体来源于岩浆有密切关系, $\text{N}_2$ 含量高推测其来源于深部。通过测试包裹体的均一温度,可分4个温度区间:高温区间( $>440\sim 340^\circ\text{C}$ )、中—高温区间( $340\sim 250^\circ\text{C}$ )、中—低温区间( $250\sim 170^\circ\text{C}$ )、低温区间( $170\sim 100^\circ\text{C}$ )。通过盐度测定,可分为高盐度流体包裹体和低盐度流体包裹体,且高盐度流体有两个富集中心,且矿化中心一致,反应是矿液的主要源区。沙溪矿床成矿压力为 $11.4\sim 34.4\text{MPa}$ ,相当于上覆岩层厚度 $1100\sim 1300\text{m}$ 的静岩压力和静水压力值。通过计算,沙溪铜矿床从成矿早期到晚期,pH值由 $5.846$ 降至 $5.755$ ,再上升为 $6.301$ ,反映出成矿热液的性质呈现出一定的规律性; $E_h$ 值为 $-0.68\sim -0.78$ ,成矿溶液具还原性质,由成矿早期到晚期,值减渐小,表明成矿溶液的还原性逐渐减弱; $f\text{O}_2$ 从成矿早期到成矿晚期从 $10^{-34.9}$ ( $T=380^\circ\text{C}$ )变化到 $10^{-44.8}$ ( $T=260^\circ\text{C}$ );



$f\text{CO}_2$ 由早到晚为 $10^{3.1}$  ( $T=380^\circ\text{C}$ ) 到 $10^{2.6}$  ( $T=360^\circ\text{C}$ ) ;  $f\text{S}_2$ 的下限为 $10^{-16}$  ( $300^\circ\text{C}$ )  $\sim 10^{-12}$  ( $400^\circ\text{C}$ ) , 上限为 $10^{-7}$  ( $300^\circ\text{C}$ ) 。

### 3 区域矿化系列

长江中下游地区矿床类型多样, 多种矿化系列并存。不同研究者们对于本区矿化系列的划分方案大同小异, 但对各系列所涵盖的范围及相对主次认识有差异。程裕淇、陈毓川 (1983) 曾把该区的成矿系列划分为 3 类: (1) 城门山、铜山口等斑岩型铜钼硫亚系列; (2) 大冶铁矿等接触交代—热液型铁矿亚系列; (3) 宁吴、庐枞玢岩型铁、铜、磷、硫亚系列。李文达等 (1996) 根据铜、金多金属矿床的成矿地质作用, 矿床组合和矿床成因, 划分了两个主要成矿系列: 即与海西期海底喷流 (热水) 沉积有关的成矿系列和与燕山期中酸性岩浆侵入活动有关的成矿系列。前者主要指产于石炭纪黄龙组底部的含铜黄铁矿矿床 (体)、黄铁矿矿床、菱铁矿矿层; 接触交代型、斑岩型、隐爆角砾岩筒型和早期的脉型。陈培良等 (1996) 将本区内成矿系列划分为 5 种: 即沉积—改造铁矿系列、燕山早期 Fe、Cu、Au 多金属系列、燕山晚期 Fe-S-P 系列、Ag-Pb Zn 系列和表生氧化富集金矿系列<sup>[24]</sup>。常印佛等 (1991) 依据成矿的地质构造环境、岩浆活动特征、成矿作用和矿床特点, 将本区矿床划分出扬子式同熔型岩浆成矿系列、沉积成矿系列和火山—沉积成矿系列。翟裕生等 (1992) 按照矿床形成的大地构造环境及其在时空和成因上的联系, 将该区的金属矿床划分为形成于太古代地台盖层沉积阶段的沉积 Fe、Cu、S、Pb-Zn 成矿系列; 形成于中生代板内变形阶段的与燕山期构造—岩浆活动密切相关的内生 Fe、Cu、Au、S 成矿系列。并将后者划分出了个成矿亚系列即夕卡岩型—斑岩型铜、钼、金成矿亚系列; 夕卡岩铁和铁铜成矿亚系列; 玢岩铁矿成矿亚系列。储国正等 (1995) 依据矿化 (矿床) 形成的大地构造环境、主要成矿作用、成矿物质来源, 将本区矿化划分成 5 个系列, 即: (1) 主要与沉积作用有关的沉积矿化系列; (2) 主要与中生代岩浆作用有关的岩浆矿化系列; (3) 主要与叠加改造作用有关的复合矿化系列; (4) 主要与变质作用有关的变质矿化系列; 和 (5) 主要与风化淋滤堆积作用有关的表生矿化系列。值得指出的是, 在特定的地质条件下, 不同矿化系列可以交叉、重叠, 形成

“三位一体”和“多层楼”矿床。另外, 翟裕生等 (1992) 和储国正等 (1995) 还讨论了不同矿化系列间的关系<sup>[25]</sup>。

### 4 区域成矿规律

长江中下游地区铁、铜、金、多金属成矿规律, 随着区内地质找矿和矿床研究工作的不断发展和深入, 在不同时期不同学者做过不同程度的探讨和总结。其中, 比较全面和系统的, 主要有“长江中下游铜铁硫金多 (金属) 成矿带成矿元素区划” (皖、鄂、赣、苏、沪地质矿产局编著, 1986) 及以此为基础编著的《长江中下游铜铁成矿带》<sup>[26]</sup>一书, 和在“七五”国家重点科技攻关专题之一“75-55-02-01” (长江中下游铁铜等成矿规律及隐伏矿床预测研究) 成果报告基础上撰写的专著《长江中下游地区铜铁 (金) 成矿规律》 (翟裕生等, 1992) , 及在“八五”国家重点科技攻关专题“85-901-03-04” (安徽沿江地区铜金多金属成矿预测研究) 成果报告基础上编写的《安徽沿江地区铜金多金属矿床地质》<sup>[11]</sup>。

鉴于《长江中下游铜铁成矿带》一书在全面系统地论述和分析区域地质背景和区域成矿条件的基础上, 将区内主要与岩浆作用有关的矿床的成矿条件和规律, 概括为“一断裂, 二序列, 三环境, 四层位”12 个字, 详细地说: “一断裂”, 系指以长江深断裂带为主干的网络构造系统; “二序列”即高钾钙碱性闪长岩类成岩序列和富钠碱钙性闪长岩类成岩成矿序列; “三环境”包括块状隆起区, 断陷火山岩盆地和介于两者之间的过渡区, 其中所产矿床的成矿元素的特征组合分别为 Cu-Au, Fe-S 和 Cu-Fe-Pb-Zn; “四层位”即主要容矿地层为包含在  $D_3-C_2$ ,  $P_1-P_2$ ,  $P_2-T_1$  和  $T_1-T_2$  等 4 个不同地层层序中, 相当于两个主要海侵—海退沉积旋回中最有利的岩性组合, 以及  $J_3-K_1$  的陆相火山岩系。这 12 个字, 从字面上看仅涉及成矿条件或成矿控制因素, 并未展示区域成矿规律, 但在它的具体内涵及其相互关系、相互制约和影响, 却包含了一系列具体的成矿规律, 如矿床的时空分布规律, 成因规律及由它们衍生的金属矿化—蚀变分带规律, 矿床 (体) 局部化的构造—地层控制规律, 不同成因或类型矿床 (体) 叠生或复合规律, 以及矿床的时空物质综合分布规律, 即 T 型或 T 型综合分带规律和金铜配对规律, 等等, 该书中均作了较详细的论述。



《长江中下游地区铜铁(金)成矿规律》一书在系统研究区域成矿规律,成矿环境,成矿系列和成矿历史的基础上,从分析构造、沉积、岩浆、成矿的内在联系着眼,指出长江中下游成矿带的形成是在大地构造和区域构造控制下,构造、沉积、岩浆三者综合作用与有机组合的结果。矿床分布具不均匀性,不同构造单元有不同的成矿亚系列,区域矿化有明显的规律分带;成矿时间演化是:早期(170~135Ma)为Cu、Mo、Au、S等成矿亚系列,晚期(135~90Ma)为Fe、S、Cu、Co等成矿亚系列,并展示了成矿环境有断块隆起区—>断块隆起区与陆相火山岩盆地之间的过渡区—>陆相火山岩盆地逐渐迁移的趋势;探讨了不同成矿系列中的结构关系,指出不同矿床类型之间具有共性、过渡性、重叠性和互补性;总结了大型矿床形成的地质条件,论述了长江中下游成矿带在环太平洋带中的地位和构造。

《安徽沿江地区铜金多金属矿床地质》一书在前人工作基础上,继承了已总结出来的某些规律,但又根据安徽沿江地区成矿特色和新的研究成果,又增添了一些新的内容。其所总结的成矿规律概括为:(1)空间上:带状分布,分段集结(沿江北、主、南三条成矿区带,矿区和矿床分布于构造的交叉、转折部位);不同亚带,各具特色(北带以Cu(Au)为主,主带以Cu、Fe、S、Au为特色,南带则兼具Cu、Mo(W)、Pb、Zn、Ag矿藏化);铜、铁矿趋于分离(铁硫矿床主要分布于断陷火山岩盆地及过渡区,铜(金)矿床则主要分布于块断隆起区);环状分布,众星捧月(区内多数矿田中的矿床呈围绕中心侵入体或潜火山岩体分布);多层产出,参差重叠(某些矿田中,容矿层位多,构成“多层楼”);铜金矿化,若即若离(铜、金矿化存在共、伴生和独立产业的两种现象)。(2)时间上:成矿时间狭窄(为150~90Ma);成矿突发性出现和迅速收敛;矿床的物质组分和矿床类型随时间演化而发生显著变化;(3)成因上:岩浆岩与成矿流体具同源性;矿床(体)主要与具有成岩异常演化特征的岩体(或潜火山岩体)共生和伴生;矿床(体)是岩浆—热液、地层、构造综合作用和有机组合的产物;钙质岩石对富碱中酸性岩浆的同化混染导致夕卡岩浆及其铁氧化物或硫化物矿浆生成;液态不混熔分离是区内岩浆型和斑岩型矿床形成的主要机制;不同成矿作用的叠加—改造和复合对矿床(体)规模增

大,矿石富化起重要作用;地球化学性质和构造条件是导致铜、金矿化相互叠置和分离的重要原因。

此外,还有写学者,如:王道华<sup>[27]</sup>、陈培志<sup>[24]</sup>等均对长江中下游地区成矿规律做了较深入探讨。

## 5 成矿模式

本区内生金属矿床的成矿模式研究,早在五六十年代铜官山式铜矿(郭文魁,1960)提出时开始,至今建立了数十个不同类型的模式。按成矿单元的级别划分有矿床、矿田、区段和区域成矿模式;按表达内容划分有单类型、单矿种和成矿系列及成矿组合几类;按性质分有经验的和成因的;此外尚有单项模式,如构造成矿模式,蚀变分带模式、地球化学模式等;所有这些模式都从不同角度反映了成矿的面貌和规律,对预测找矿具有重要指导意义。下面按成矿单元的级别选取与本次研究有关的模式做一简介。

### 5.1 铜陵模式

常印佛等(1991)根据成矿背景和条件所建的铜陵模式可归纳为“一圈多层”,即矿体围绕侵入体平面呈环状,剖面呈多层状或“L”及“Y”形(接触式和层控式复合)。矿石组合为铜—硫、铜—(铁)硫、铜—金、铜—钼(铅锌),金属分带现象明显,属夕卡岩—斑岩—热液矿床系列。成矿物质来源以深源为主, $\delta^{34}\text{S}$ 多在零值附近,围岩蚀变主要为夕卡岩化和蛇纹岩化,斑岩型则为钾化、石英绢云母化及青磐岩化,有缺失或叠合现象,“三位一体”则为本模式的另一特征。黄许陈、储国正还建立了铜陵狮子山矿田多位一体(多层楼)模式<sup>[28]</sup>。

### 5.2 安徽沿江区段成矿模式

唐永成等(1998)根据“八五”国家科技攻关研究成果,建立了安徽沿江地区成矿模式。其特点是将浅部成矿模式与深部的岩浆起源和演化的梗概联系在一起,反映出不同岩浆岩系列与不同矿床系列间的成因联系。

### 5.3 长江中下游区域成矿模式

翟裕生等(1990)根据“七五”国家科技攻关研究成果,建立了区域成矿模式。该模式反映了本区多层、断块的壳幔结构、成矿的地质构造环境及与岩浆岩的密切关系以及各矿床类型的空间分布特征,形象地显示了长江中下游区域地质及成矿作用的总貌。

常印佛等(1991)按地质成矿环境、构造背

景、岩浆序列、围岩条件和金属矿产组合等方面将“铜陵模式”、“大冶模式”和“宁芜模式”3套模式进行有机地联系和归纳,建立起长江中下游地区铜铁成矿带综合成矿模式。三个模式间虽存在明显差异,但在时空关系方面却揭示了成矿作用的一些演化规律。即(1)成矿地质环境从断褶隆起区经隆坳过渡区向断陷火山岩盆地迁移;(2)岩浆活动从侵入作用向潜火山活动和火山喷溢转化,成岩演变则从第一成岩序列(高钾闪长岩类)富钾向第二成岩序列(富钠闪长岩类)富钠递变;(3)主要成矿期为晚侏罗世成铜、晚侏罗—早白垩世成铁铜、早白垩世成铁;(4)主导控矿构造,从早期近东西向( $270^{\circ}\sim 290^{\circ}$ )控铜转变为晚期的NNE向控铁;(5)主要围岩时代也是自老到新,从中石炭—早白垩世。

以上是对近期不同研究者对长江中下游地区成矿地质背景研究成果的总结和分析,其目的是希望更多的研究者在此基础上进一步深入研究,以便在更深层次上揭示该区的成矿地质背景。

## 参考文献

- [1] 楚之潮、秦有余.长江中下游铜矿地质特征[A]《长江中下游铁铜金银矿产地质》论文集编委会汇编,长江中下游铁铜金银矿产地质[C].北京:冶金工业出版社,1996,69~96
- [2] 陈培良.长江中下游金矿地质特征[A]《长江中下游铁铜金银矿产地质》论文集编委会汇编,长江中下游铁铜金银矿产地质[C].北京:冶金工业出版社,1996:97~121
- [3] 陈培良.长江中下游铁铜金银成矿规律[A]《长江中下游铁铜金银矿产地质》论文集编委会汇编,长江中下游铁铜金银矿产地质[C].北京:冶金工业出版社,1996:1~18
- [4] 安徽地质矿产局.鄂赣皖苏沿江及邻区铜金等矿产勘查与评价研究总结报告(R).1995
- [5] 陈沪生.扬子准地台下扬子盆地HQ-13地球物理—地质综合解释纲要[A].中国南方油气勘探新领域探索论文集,第二期[C].北京:地质出版社,1988,483~484
- [6] 陈江峰,周泰禧,李学明.长江中下游岩带含铜岩体的同位素地球化学研究[A].同位素地球化学[C].杭州:浙江大学出版社,1994,121~131
- [7] 王文斌,李文达,范洪源.长江中下游铁铜多金属矿床铅同位素特征[J].火山地质与矿产,1995,16(2):11~20
- [8] 邢凤鸣,徐祥.安徽沿江中生代岩浆的基本特征[J].岩石学报,1995,11(4)
- [9] 张理刚,陈振胜.中国东部富碱侵入岩铅同位素组成模式及其地质意义[J].地质科学,1994,19(2):66~71
- [10] 周涛发,岳书仓.长江中下游铜、金成矿带主要研究进展[J].矿床地质,1998,第17卷,增刊
- [11] 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.
- [12] 翟裕生,姚书振,林新多,等.长江中下游地区铁铜(金)成矿规律[M].北京:地质出版社,1992,1~11
- [13] 陈衍景,秦善,李欣.中国矽卡岩型金矿时间、空间、地球动力学背景和成矿模式[J].北京大学学报,1997,33(3):40~52
- [14] 胡文宣,胡受奚.宁芜和庐枞地区钠长石的钠质来源新探[J].地质找矿论丛,1991,6(2):8~16
- [15] 周珣若,杨静,任进.苏州地区I-A型花岗岩特征与成因的对比研究[J].地球科学,1997,22(3):50~56
- [16] 周涛发,岳书仓,兰天佑.安徽月山地区闪长岩类岩浆动力学及其与成矿作用的联系[J].矿床地质,1995,14(4):303~313
- [17] 周涛发,岳书仓,兰天佑.安徽安庆铜矿床硫同位素地球化学[J].地球科学,1995,20(6):705~711
- [18] 马振东,等.长江中下游及邻区基底地球化学分区及区域成矿远景预测[J].地球科学--中国地质大学学报,1999,24(3):288~291
- [19] 马振东,单先详.长江中下游区域地壳热结构及研究意义[J].地球科学--中国地质大学学报,1997,22(1):62~64
- [20] 马振东,张本仁,蒋敬业,等.长江中下游及邻区基底和花岗岩成矿远景丰度背景研究[J].地质学报,1998,72(3):267~275
- [21] Sangster D F. Sulfur and lead isotopes in strata-bound deposits of calc-alkaline affiliation[J]. Geol. Assoc. Canada, Spec. Paper 14, 1976a
- [22] 马振东,单先详.长江中下游及邻区区域铅同位素组成背景及其应用[J].地质学报,1996,70(4):324~334
- [23] 王杏英.鄂东铁铜多金属矿床包裹体特征及找矿意义[A]《长江中下游铁铜金银矿产地质》论文集编委会汇编,长江中下游铁铜金银矿产地质[C].北京:冶金工业出版社,1996,196~207
- [24] 陈培良.长江中下游铁铜金银成矿规律[A]《长江中下游铁铜金银矿产地质》论文集编委会汇编,长江中下游铁铜金银矿产地质[C].北京:冶金工业出版社,1996:1~18
- [25] 储国正.安徽沿江地区铜金多金属矿化系列及其相互关系[J].安徽地质,1999,9(1):45~53
- [26] 常印佛,刘湘培,吴言昌.长江中下游铜铁成矿带[M].北京:地质出版社,1991
- [27] 王道华,等.长江中下游区域铜、金、铁、硫矿床基本特征及成矿作用[M].北京:地质出版社,1998
- [28] 黄许陈,储国正.铜陵狮子山矿田多位一体(多层楼)模式[J].矿床地质,1993,1

(下转53页)

### 5.6 严格执行矿山地质环境评估制度

新建矿山及矿区,应严格执行矿山地质环境影响评价和“三同时”制度,先评价,后建设。对不符合规划要求的新建矿山一律不予审批,从根本上消除今后对矿区生态环境的影响。

### 5.7 建立矿山生态环境信息系统

开展全省所有矿山生态环境调查评价,建立矿山生态环境档案和生态环境预警系统,开展老矿山生态环境保护整治示范,对新建矿山实行严格的环境保护,使全省矿山生态环境恶化的趋势得到有效控制,把美好的家园留给子孙后代。

## ECONOMIC ANALYSIS ABOUT THE EFFECT OF MINERAL RESOURCES EXPLOITATION ON THE ECOSYSTEM ENVIRONMENT IN ANHUI PROVINCE

XIAO Qing-hua

(General Monitoring Station of Geological Environment of Anhui Province, Bengbu 233000, China)

**Abstract:** There are abundant and complete kinds of mineral resources in Anhui Province. The main minerals, such as coal, iron, copper, sulphur and parts of non-metal, occupy the important position in China. Along with the exploitation of mineral resources, many serious ecological problems occur, such as, land collapse, soil erosion and environment pollution etc. According to the inquisition data, this paper analyzed the present condition of mineral resources exploitation and ecological environment in some mining area and put forward reasonable suggestion on mineral resources exploitation and ecosystem prevention.

**Key words:** mineral resources; exploitation; ecological environment prevention; economic analysis

(上接第43页)

## ANALYSIS OF ORE-FORMING GEOLOGICAL BACKGROUND IN THE MIDDLE-LOWER REACHES OF THE YANGTZE RIVER

CHU Guo-zheng

(Bureau of Geology and Mineral Resources Exploration of Anhui Province, Hefei 230001, China)

**Abstract:** The paper gives a systematic summary and analysis of latest result of the study on ore-forming geological background in the middle-lower reaches of the Yangtze River for the recent decade, underlining the regional structural framework, crust-mantle structure, meta-basement, structural, sedimentary and magmatic processes, geological fluid and regional metallogenetic geochemical features, metallogenetic law and model. All these are significant to furthering the study on metallogenetic process and law for the area.

**Key words:** geological background; structural environment; metallogenetic law; metallogenetic model; middle-lower reaches of the Yangtze River