

# 铜陵矿集区成矿作用研究进展\*

## Research Advance in Tongling Ore Concentrating Area

王庆飞<sup>1</sup> 邓军<sup>1</sup> 侯增谦<sup>2</sup> 孙忠实<sup>3</sup>

(1 中国地质大学, 北京 100083; 2 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037; 3 吉林大学, 吉林 长春 130061)  
Wang Qingfei<sup>1</sup>, Deng Jun<sup>1</sup>, Hou Zengqian<sup>2</sup>, Sun Zhongshi<sup>3</sup>

(1 China University of Geosciences, Beijing, 100083, China; 2 Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China; 3 Jilin University, Changchun 130061, Jilin, China)

**摘要** 本文从构造演化与成矿流体、岩浆岩及其成矿作用、成矿模式与成矿规律、地质异常与找矿模式 4 个方面对铜陵矿集区的研究进展与现状进行了总结与分析。近年来, 成矿学研究进展不仅体现于更多资料的积累和整理, 新技术的应用, 更表现为科学观念的深化和变革, 研究焦点的延拓和创立, 如: 深部地质构造与成矿、全球构造与成矿、区域地球化学与成矿、区域地质流体与成矿、成矿作用过程研究及“3S”技术与计算机模拟技术应用。其既为铜陵矿集区成矿研究提供了良好基础和条件, 也提出了挑战。

**关键词** 成矿流体 构造演化 铜陵矿集区

铜陵矿集区位于长江中下游多金属成矿带的中部, 下扬子印支期北东向构造带的东南部隆褶带。其构造—岩浆—流体—成矿作用特点在中国具有一定典型性, 发育与海西期海底喷发(热水)有关的成矿系统和与燕山期中酸性岩浆侵入活动有关的成矿系统。叠加—改造作用明显, 属于复合成矿系统。本文主要从以下 5 个方面对其研究现状进行阐述。

### 1 构造演化与成矿流体

铜陵地区大地构造演化可分为 3 个阶段: 基底形成发展阶段、沉积盖层稳定发展阶段和板内变形阶段, 即活动—稳定—活动的过程。

本区晋宁运动后, 处于拉张环境, 逐步形成断裂拗陷带。海西期沉积形成晚石炭世的滨海、浅海碳酸岩建造。沉积成岩过程中, 封存的地层水受热、酸化, 盐度升高, 在地热及火山热能驱动下, 形成水热循环系统, 萃取地层中的成矿元素, 已形成含矿热液, 与海水、大气降水或岩浆水混合形成热卤水, 沿基底断裂(同生断裂)上升, 形成层状铜、金(黄铁矿型)矿床。进入燕山期, 上地幔岩石圈隆起, 区域处于张性或向张性过渡环境, 产生强烈岩浆活动, 再次成矿(周涛发等, 2000)。刘绍谦等(1996)注重了板块运动对该区演化与成矿作用的影响。倪若水(1995)详细讨论了中生代沉积盆地演化与成矿作用(卤水流体)的关系。

燕山早期古构造应力场最大压应力方向为NWW—SEE, 使EW—NWW向断裂具张剪性质, 深切到岩石圈板内拉张带, 造成深源物质上涌, 形成铜陵—沙滩角矿带。燕山晚期区域的最大主压应力方向转为NE-SW向, 沿平行NE—NNE方向延伸的破裂面转化为张剪性, 深切于岩石圈形成另一系列的板内拉张带, 幔源物质上涌而成矿(刘绍谦等, 1996)。构造动力体制转换是成矿的主要条件(邓军等, 1988)。受燕山期左行剪切应力场作用形成的滑脱构造, 是在大规模的地壳表层滑脱作用下, 沿地层柱中主要软弱层产生多层次滑脱、地层减薄或加厚。其是本区重要的控岩控矿构造(刘绍谦, 1997)。刘文灿等(1996)对铜陵地区构造变形系统进行了全面研究, 探讨了构造变形及其复合效应与成岩成矿的关系<sup>①</sup>。

该区成矿物质、成矿流体具有多源性(刘文灿等, 1996)。杨学明等(1997)通过老鸦岭层状铜矿床的成矿地球化学研

\* 本文由国家重点基础研究发展规划项目(1999043206)、国土资源部专项研究计划项目(20010103)、国家自然科学基金(40172036)和教育部科学技术研究重点项目(01037)联合资助

第一作者简介 王庆飞, 男, 1978年生, 硕士研究生。

① 安徽省地矿局 321 地质队、327 地质队, 南京大学地球科学系等. 安徽沿江主要成矿区铜及有关矿产勘查研究(上册)(“八五”国家科技攻关计划专题成果报告)。

究发现成矿流体与岩浆热液为主，另有地下水、天水参与。夏元法（1999a,b）通过对天马山、新桥等矿床的研究发现成矿物质具有多源性，以岩浆为主。

於崇文等（1995, 1998）运用输运反应耦合过程动力学理论对该区层控夕卡岩铜矿床进行了成矿作用动力学研究，揭示了成矿流体流动、成矿物质扩散机理。岑况（1999）利用共存矿物溶解度的计算理论和方法，以铜陵天马山硫化物矿床为例进行模拟，结果为，成矿流体流经砂岩并溶解砂岩中的原生黄铁矿最终流到砂岩和碳酸盐岩界面沉淀成矿。

## 2 岩浆岩及其成矿作用

铜陵地区侵入岩研究历史悠久。翁文灏（1920）将它划入与铁铜矿产有关的偏中性类侵入岩，谢家荣（1936）将它归入扬子式花岗岩，徐克勤等（1982）提出其属同熔系列花岗岩，郭文魁（1982）将它列入钙碱系列岩石。常印佛等（1991）命名为扬子式同熔型，是钾硅质异常演化的产物，原始岩浆为碱性玄武岩浆。

对岩浆岩的源区存在着两种基本认识。一是陆壳物质熔融形成花岗质岩浆（壳源）。张理刚（1994）根据铅、锶、钕、氧同位素研究，否定了幔源岩浆结晶分异形成岩体的可能性；徐启东（1997）通过将长江中下游地区置于大别造山带中生代岩石圈演化过程的一部分进行区域地球化学研究后认为，其是碰撞后下地壳物质熔融的结果，地幔主要是以能量的形式参与花岗岩类的形成，花岗岩类的源区表现出两类地壳物质混源的性质。二是来自上地幔的岩浆不同程度地同化陆壳物质形成花岗质岩浆（壳-幔混源）（常印佛等，1991；张理刚，1994；徐启东，1997；毛建仁等，1990）。后者得到较多人的认可。吴言昌等（1999）认为由地幔隆起带脊部产生碱性玄武岩浆，与下地壳物质发生 AFC 作用，形成了高钾钙碱性岩浆，对应于铜陵矿集区的铜、铁成矿系统。赵斌等（1996）通过高温高压实验研究证实了壳-幔混源的观点。王文斌（1995）据铅同位素研究提出侵入岩与接触交代型矿石铅为壳幔混合源，以地幔源为主，幔源铅约占 63%~74%。邢凤鸣等（1996a,b; 1997）认为铜陵地区侵入岩可能是中等亏损的大陆地幔因低度部分熔融产生的高钾碱性玄武岩浆，同化太古宙麻粒岩相下地壳后上侵的产物，并通过成岩实验论证了这一观点，同时对 AFC 过程进行深入研究，提出在 27 km 左右的深度发生过联合的同化混染、分离结晶作用，AFC 计算模拟结果显示岩石中幔源物质占 70% 左右。

岩浆岩中发育深源、浅源两种包体，周珣若等（1993）认为这两种包体都是同源岩浆在不同岩浆作用阶段的产物：即深源包体（辉石岩和角闪石岩）来自深位岩浆房中堆积岩碎块，而浅源包体（闪长质微粒包体）来自浅位岩浆房冷凝边碎块；浅部岩浆房与深部岩浆房深度为 19~22 km、7~10 km。杜杨松等（1997）发现有变质岩残余包体，具有（普通辉石）-非闪石（阳起角闪石）-镁质黑云母-更长石（正长石）-（石英）-磁铁矿（黄铁矿）-（磷灰石）矿物组合，缺乏富铝矿物和碳酸盐矿物；并提出岩浆岩包体、变质岩包体以及相应的寄主岩浆岩的矿物化学特征具有相似性，有明显的成因演化关系。另外，邢凤鸣（1995）在鸡冠山岩体中发现有堆晶淬冷包体。

值得提出的是，通过对大地电磁测深剖面、地震剖面、层析成像速度结构等地球物理资料的研究，提出长江中下游及其邻区，在 15~23 km 深度左右存在壳内高导（低速）层。正是这些超导层控制了长江中下游及其邻区陆壳的变形，地壳中部的高导（低速）层正处于地壳脆-韧性转换带上，成为伸展构造的拆离面、叠置构造的激发层。壳内高导（低速）层的分布与上地幔隆起有一致的起伏形态。沿高导层隆起带，地层向两侧滑移推覆，地壳拉张，熔融岩浆沿深断裂向上运移，成为岩浆上涌的通道（彭聪等，1998）。地球物理资料解译与岩石、地球化学研究具有一致性，进一步证明了深部岩浆房的存在及其存在深度，明确了岩浆起源的深部地球物理背景。

赵斌（1997）通过矿床锶与氧同位素研究提出夕卡岩的岩浆成因，并对比了交代夕卡岩和岩浆夕卡岩的稀土元素地球化学特征（赵斌等，1999）。凌其聪等（1998）认为铜陵东狮子山铜矿床为夕卡岩岩浆冷结晶演化过程的产物，整个成岩成矿过程为：浅部岩浆房形成→辉石二长闪长岩岩浆、夕卡岩岩浆形成并上下分层→两种岩浆侵位、矿床形成。杜杨松等（1997）提出浅部岩浆房分异出成矿气液形成隐爆角砾岩。

岩浆动力学研究表明深源岩浆房残余岩浆上升至浅部侵位的速度为 10.29 m/h，浅部岩浆房寄主岩浆上升速率为 0.972 m/h（杜杨松等，1997）。岩浆侵位较浅，约 1~3 km。

对岩浆岩中碱质异常的来源问题认识不一，有些学者认为是来源于盖层的膏盐（蔡本俊，1980, 1982, 1993；胡文宣等，1991），有些学者持源于岩浆本身的观点（蔡本俊，1993）。李文达（1996）在前人研究的基础上提出除原始岩浆具有碱质外，在岩浆分异过程中不时地有外来碱质加入，这些碱质主要由中、下三叠统中的膏盐层提供。

### 3 成矿模式与成矿规律

前人总结了狮子山矿田“多层楼”、铜官山矿田“三位一体”经典成矿模式。其中一个重要特征是“多层位控矿”，即除沿火成岩体边缘成矿外，在三叠系底部（大团山矿）、二叠系大隆组底部（老鸦岭矿）等层位中发育多层含铜夕卡岩矿层。徐恒诚（1993）从演化的角度总结了铜陵矿集区石炭纪同生沉积、燕山期后生叠加改造成矿模式。

储国正与黄许陈（1993）将矿床、矿点的空间分布概括为一个“中心”两个“带”，受构造网络控制，多层成矿。一个“中心”，就是以岩浆侵入作用为中心，形成矿田范围内的分带；两个“带”则是指区域范围的北铁、南铜带。储国正等（2000）总结铜、金矿点规律为内铜外金、下铜上金、西铜东金。

### 4 地质异常与找矿预测

通过对铜陵地区 1:2.5 万航磁资料进行化极、分离深浅源场及垂向二次导数等数据处理，发现有些化极局部异常和区域场垂向二导异常呈环状展布，这些环状异常与出露或隐伏的圆柱状岩体、铜多金属矿体、蚀变矿化体密切相关（李胜汉等，1995）。栾继深与赵友方（1989）利用卤素测量、壤中吸附态汞及气汞测量、土壤电导率测量、盐晕测量等综合化探方法在该区不同覆盖类型、不同类型已知矿床及未知区均取得好效果。吕新彪等（1998）运用地质异常理论和方法，对长江中下游地区沉积、构造和岩浆岩异常的类型及特征进行了定性和定量分析。地球物理研究表明铜陵矿集区与地幔隆起区、重力高值带对应（彭聪等，1998）。刘绍濂（1995）建立了遥感成矿遥感影像模式和找矿标志。

根据多方面控矿因素，前人从多角度出发总结了铜陵矿集区的找矿模式，并取得一些找矿的突破。邢耶（1996）提出了隐伏黄铁矿遥感地质综合找矿模式，刘绍濂（1999）总结了铁、铜、金（银）等各金属矿床的找矿模式。安徽省地矿局 321 地质队根据狮子山成矿模式，在狮子山矿田中以钻探在 880 m 以下发现了厚达 50 m 的铜矿层，经过详细勘探，获金属量达 141 万吨的冬瓜山矿床，从而在深部找矿中获得了重大突破（中国矿床发现史·安徽卷编委会，1996）。

### 5 现状总结及态势展望

近年来通过国家科技攀登项目“与寻找超大型矿床有关的基础研究”、“地质流体作用及其成矿效应研究”、国土资源部“九五”重点基础科技项目“古大陆边缘成矿系统及成矿构造动力学研究”等系列科研课题的实施，提出了许多新理论认识与技术方法。如区域成矿学研究已成为当代地球科学的一个重要研究领域，其任务是探索区域的成矿环境、成矿作用过程和矿床的时空分布规律，为难度日益增大的找矿预测和资源潜力评价工作提供科学依据。当前区域成矿学研究主要包括 6 方面：深部地质构造与成矿、全球构造与成矿、区域地球化学与成矿、区域地质流体与成矿、成矿作用过程研究及“3S”技术与计算机模拟技术应用。现正实施的国土资源部专项研究计划——“大型矿集区深部精细结构与含矿信息”（以铜陵地区为重点）以查清不同尺度的深部精细结构，确定不同尺度的源—运—储成矿系统。科学技术进步与思维理念的更新势必促进铜陵矿集区成矿研究的深入和多方面的突破。

#### 参 考 文 献

- 蔡本俊. 1980. 长江中下游地区内生铁铜矿与膏盐的关系. 地球化学, 9 (2): 193~199.
- 蔡本俊. 1982. 蒸发岩对(偏)碱性岩的控制及其意义. 矿物岩石, 2 (4): 1~9.
- 蔡本俊. 1993. 内生铁铜矿床与蒸发岩关系的回顾—答胡文宣. 地质找矿论丛, 18 (1): 96~99.
- 岑况. 1999. 共存矿物溶解度与硫化物金属成矿作用. 地质学报, 73 (3): 243~249.
- 常印佛、刘湘培、吴吉昌. 1991. 长江中下游铜铁成矿带. 北京: 地质出版社. 138~197.
- 储国正, 黄许陈. 1993. 安徽铜陵地区成矿规律研究. 地质与勘探, 29 (2): 1~5.
- 储国正, 王训诚, 周育才, 等. 2000. 安徽铜陵地区铜金矿化关系及其成因初探. 贵金属地质, 9 (2): 73~77.
- 邓军, 吕古贤, 杨立强, 等. 1998. 构造应力场转换与界面成矿. 地球学报, 19(3): 244~250.
- 杜杨松, 李学军. 1997. 安徽铜陵典型矿区岩石包体研究及岩浆-成矿作用过程探讨. 高校地质学报, 3 (2): 171~182.
- 郭文魁. 1982. 谈类花岗岩与金属成矿作用. 中国区域地质, (2): 15~30.
- 胡文宣, 胡受奚. 1991. 宁芜和庐枞地区钠长石化的钠质来源新探. 地质找矿论丛, 6 (2): 30~46.
- 李盛汉. 1995. 安徽铜陵、贵池地区的环状航磁异常及其找矿意义. 有色金属矿产与勘查, 4 (4): 228~332.

- 李文达, 王文斌, 范洪源, 等. 1996. 长江中下游火山-侵入杂岩中值得探讨的几个问题(一). 火山地质与矿产, 16(2): 1~19.
- 凌其聪, 程惠兰, 陈邦国. 1998. 铜陵东狮子山铜矿床地质特征及成岩成矿机理研究. 矿床地质, 17(2): 158~166.
- 刘绍谦, 晏久平. 1996. 长江中下游成矿带构造沉积特征分析. 中南冶金地质, (2): 34~39.
- 刘绍谦. 1995. 安徽铜陵地区 TM 图象处理及地质解译. 中南冶金地质, (2): 55~61.
- 刘绍谦. 1997. 长江中下游滑脱构造体系及其控岩控矿特征. 中南冶金地质, 1(总54): 9~15.
- 刘绍谦. 1999. 长江中下游成矿带中铁、铜、金(银)矿床的找矿模式及其找矿前景. 中南冶金地质, 2(总59): 8~13.
- 刘文灿, 高德臻, 储国正. 1996. 安徽铜陵地区构造变形分析及成矿预测. 北京: 地质出版社. 1~44.
- 吕新彪, 赵鹏大, 姚书振. 1998. 长江中下游地质异常与找矿. 地质学报, 72(3): 367~375, 260~266.
- 栾继深, 赵友方. 1989. 综合化探新方法在长江中下游寻找铜铁多金属隐伏矿的效果. 地质与勘探, 25(4): 47~52.
- 毛建仁, 苏郁香, 陈三元, 等. 1990. 长江中下游中酸性侵入岩与成矿. 北京: 地质出版社. 1~135.
- 倪若水. 1995. 长江中下游中生代沉积盆地的含矿建造. 火山地质与矿产, 16(2): 42~54.
- 彭聪, 赵一鸣. 1998. 长江中下游及其邻区深部地球物理背景与含金夕卡岩矿床的分布. 物探与化探, 22(3): 175~182.
- 王文斌, 李文达, 谢华光, 等. 1995. 长江中下游铜铁多金属矿床铅同位素特征. 火山地质与矿产, 16(2): 67~77.
- 翁文灏. 1920. 中国矿产区域论. 地质汇报, 第2号: 9~21.
- 吴言昌, 曹奋扬, 常印佛. 1999. 初论安徽沿江地区成矿系统的深部构造-岩浆控制. 地学前缘, 6(2): 285~296.
- 夏元法. 1999. 试论天马山硫金矿床的成矿物质来源. 矿产与地质, 13(1): 34~38.
- 夏元法. 1999. 铜陵地区层控夕卡岩型矿床地质特征和成矿条件. 矿产与地质, 13(6): 338~342.
- 谢家荣. 1936. 中国之矿产时代与矿产区域. 地质论评, 1(3): 263~380.
- 刑凤鸣, 徐祥. 1996. AFC 混合与铜陵地区侵入岩的成因. 岩石矿物学杂志, 15(1): 1~11.
- 刑凤鸣, 徐祥. 1996. 铜陵地区高钾钙碱侵入岩. 地球化学, 25(1): 29~38.
- 刑凤鸣, 赵斌, 徐祥, 等. 1997. 安徽省铜陵地区侵入岩成因的实验研究. 中国区域地质, 16(3): 267~276.
- 邢耶. 1996. 长江中下游(江苏、安徽)黄铁矿成矿区遥感地质研究. 化工矿产地质, 18(3): 239~244.
- 邢凤鸣, 徐祥. 1995. 铜陵鸡冠山岩体中的堆晶淬冷包体. 岩石矿物学杂志, 14(1): 19~25.
- 徐恒诚. 1993. 长江中下游层控铜矿床的成矿作用. 地质找矿论丛, 8(1): 11~27.
- 徐克勤, 孙明志, 叶俭. 1982. 华南二个成因系列花岗岩类及其成矿特点. 矿床地质, 1(2): 1~14.
- 徐启东. 1997. 长江中下游中生代花岗岩类源区的壳-壳混源性质. 岩石矿物学杂志, 16(2): 120~130.
- 杨学明, 杨晓勇, 王仁奎, 等. 1997. 安徽铜陵老鸦岭层状铜矿床的成矿地球化学研究. 大地构造与成矿学, 21(4): 347~361.
- 於崇文, 岑况, 鲍征宇, 等. 1998. 成矿作用动力学. 北京: 地质出版社. 30~76.
- 於崇文, 蒋耀松, 肖正域. 1995. 安徽铜陵层控夕卡岩型铜矿床的成矿作用动力学. 地质学报, 69(3): 243~254.
- 张理刚. 1994. 中国东部富碱侵入岩铅同位素组成特征模式及其地质意义. 地球科学, 19: 227~234.
- 赵斌, 赵劲松. 1997. 长江中下游地区若干铁铜(金)矿床中块状及脉状钙质夕卡岩的氧锆同位素地球化学研究. 地球化学, 26(5): 34~53.
- 赵斌, 刑凤鸣, 朱成明, 等. 1996. 长江中下游中性-中酸性岩浆岩的母岩浆来源及铜的成矿作用——实验研究. 地球化学, 25(4): 387~399.
- 赵斌, 赵劲松, 刘海臣. 1999. 长江中下游地区若干 Cu(Au), Cu-Fe(Au) 和 Fe 矿床中钙质夕卡岩的稀土元素地球化学. 地球化学, 28(2): 113~125.
- 中国矿床发现史·安徽卷编委会. 1996. 中国矿床发现史·安徽卷. 北京: 地质出版社. 83~86.
- 周涛发, 岳书仓. 2000. 长江中下游铜、金矿床成矿流体系统的形成条件及机理. 北京大学学报(自科版), 36(5): 697~707.
- 周珣若, 吴才来, 黄许陈, 等. 1993. 铜陵中酸性侵入岩同源包体特征及岩浆动力学. 岩石矿物学杂志, 12(1): 20~31.