

# 复合成矿与构造转换——以长江中下游成矿带为例<sup>\*</sup>

常印佛<sup>1,2</sup> 周涛发<sup>1</sup> 范裕<sup>1</sup>

CHANG YinFo<sup>1,2</sup>, ZHOU TaoFa<sup>1</sup> and FAN Yu<sup>1</sup>

1. 合肥工业大学资源与环境工程学院, 合肥 230009

2. 安徽省国土资源厅, 合肥 230088

1. School of Resources and Environmental Engineering, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China

2. Department of Land and resources of Anhui Province, Hefei 230088, China

2012-05-01 收稿, 2012-08-23 改回.

**Chang YF, Zhou TF and Fan Y. 2012. Polygenetic compound mineralization and tectonic evolution: Study in the Middle-Lower Yangtze River Valley metallogenic belt. *Acta Petrologica Sinica*, 28(10):3067–3075**

**Abstract** The polygenetic compound ore deposits are widely distributed in the world. In order to understand the mineralization process, develop the metallogenic theory and guide ore prospecting and exploration; it is significant to make special research on this kind of deposits. As the intense Mesozoic magmatism rebuild the pre-mineralization in the eastern China, this study take the Middle-Lower Yangtze River Valley metallogenic belt as an example of the eastern China to investigate the mineralization mechanisms of this kind of deposits. To the major mechanisms of the polygenetic mineralization, the authors agree that the superposition and transformation are the basic types of the mineralization enrichment, while the pre-enrichment, inheritance and regeneration of mineralization should be paid more attentions. Generally, there is large-scale mineral enrichment after repetitious inherited and pre-enrichment process. The final formation and adscription of polygenetic compound ore deposits the Middle-Lower Yangtze River Valley metallogenic belt were related with the Mesozoic tectono-magmatic activities during the change of tectonic regime from compression to extension, which exhibited as "metallogenic explosion". During this process, ore bearing formations (including hydrothermal sediment) and mineralized sedimentary source bed are altered to ore bodies. The mineralization process can be generally divided into two stages: At the early stage (145 to 136Ma), high-K calc-alkaline series intrusion and copper and gold mineralization formed in a strike-slip compression tectonic setting, and at the later stage (135 to 127Ma), shoshonitic series volcanic rocks with iron and sulfur mineralization formed in a strike-slip extensional environment. Both the early and late stages of mineralization widely developed the polygenetic copper, gold, iron, sulfur and Pb-Zn deposit, which are mainly effected by the superimposed reformation. They can be further identified as a typical transitional series of polygenetic compound ore deposits between the magmatic hydrothermal ore deposits and the sedimentary deposits such as the strata-bound skarn type, the sediment-hydrothermal superimposed type, the layered superimposed reformed type, the migrated reformed type and the *in situ* reformation type), which compose a deposit "family". At the last stage (126 to 123Ma), it formed alkaline volcanic rocks and A-type granitoids with iron, gold, molybdenum and uranium mineralization in the extension environment, which indicated the end of mineralization in the metallogenic belt.

**Key words** Polygenetic compound mineralization; Superposition; Transformation; Pre-concentration; Tectonic mechanisms transition; Strike-slip extrusion; Slip extension

**摘要** 复合成因矿床分布广泛,把它们单独划分出来进行研究,对于深入认识成矿过程、发展成矿理论和指导找矿勘探,均有重要意义。鉴于中国大陆东部中生代岩浆作用强烈,对前期成矿作用的影响也很明显,因此本文以长江中下游成矿带为例,评介了复合成矿作用的几种主要机理,认同前人提出的叠加和改造是其基本类型,但预富集作用也应重视,同时也不能忽视继承成矿和再生成矿,特别是继承和预富集联合多次出现时,可以形成区域性成矿元素大规模富集。同时,本文还将它们放在区域构造体制和机制转化演化过程中加以考察,进一步明确它们在中生代构造体制转换以前主要以沉积(含热水沉积)成因的含矿建造、矿源层或矿(胚)层产出,而矿床的最终形成与就位则主要与新构造体制下由挤压向引张转化的过渡环境中构造-岩浆活动有关,呈现出“成矿大爆发”的现象。其中早期(145~136Ma)构造机制是以走滑挤压作用为主,形成与高钾钙碱性岩系有关的铜金矿化。晚期(135~127Ma)以走滑引张作用为主,形成了与橄榄安粗岩系有关的铁硫矿化。但这两期都

<sup>\*</sup> 本文受国家自然科学基金重点项目(40830426)、国家“深部探测技术与实验研究专项”(SinoProbe-03)、中国地质调查局地质调查工作项目(1212011121115)和高等学校博士学科点专项科研基金(20100111110010)联合资助。

第一作者简介:常印佛,男,1931年生,中国科学院院士,中国工程院院士,长期致力于矿产地质勘查和研究,E-mail: liliangjun16@163.com

有广泛发育的以叠加改造为主的复合成因铜、金、铁、硫及铅锌矿床,从而在典型的岩浆热液矿床和沉积矿床之间形成了一套过渡性矿床序列(层控矽卡岩型→沉积热液叠加型→层控叠改型→迁移式改造型→原地式改造型),构建了一个矿床“家族”。末期(126~123Ma)以引张作用为主,出现碱性火山岩和A型花岗岩类,伴随铁、金、钼、铀等矿化,成矿带的成矿活动随之进入尾声。

**关键词** 复合成矿; 叠加; 改造; 预富集; 构造机制转换; 走滑挤压; 走滑引张

**中图法分类号** P542; P611

本文是作者去年在一次会议上的发言稿,那次会议主题为中国东部中生代构造体制转换,成矿作用在其中扮演何种角色则是本文主要讨论的问题。转制前后的两个体制,各有其成矿作用,它们可以分别产出,也可以先后出现在同一矿床中,后者就是复合成矿,它在这一构造背景下有一定的代表性。应该说,复合成矿不是中生代所特有,例如金山式金矿即系在前震旦基底含金建造(矿源层)基础上,加里东期构造作用改造富集成矿,并且也不排除还受到燕山期构造岩浆作用的影响;又如华南地区出现了加里东、印支和燕山期的岩浆作用和钨的成矿作用,并且还呈后来居上的趋势,似表明成矿有一个在不同构造演化阶段的逐步富集过程。按照会议的主题要求,本文只讨论中生代构造体制转换背景下的复合成矿作用,并且以长江中下游成矿带为例,这是因为该成矿带主要为沉积盖层分布区,极少有变质基底出露,地层(尤其是海相地层)划分对比比较清楚;岩浆作用主要集中在短暂的地史期间,岩浆岩种类也不很复杂;因此,在区域成矿分析中待解决的重大基础地质问题相对要少一些。但该成矿带浅部矿床就位是在新的构造体制转换完成之后,区域构造的运动学机制由挤压向引张转换的期间,因此本文题目用了“构造转换”一词,其意涵盖体制和机制两次转换,特此说明。

## 1 复合成因矿床

按照传统观点矿床通常被划分为3大类,即内生矿床,外生矿床和变质矿床(Lindgren, 1933; 姚凤良等, 2006),因此,传统的矿床学和找矿勘探学基本上是在把矿床看作单一成因的基础之上建立起来的。如对内生矿床,多着重注意岩浆岩、控矿构造和围岩条件等方面。对于沉积矿床,多着重含矿层位及其层序、沉积建造和相,以及沉积环境特点等方面。变质矿床虽然也包括变质前后的双重因素,但仍局限于变质作用(主要是区域变质作用)。这一分类用在地质构造和矿床成因复杂的地区,在不少情况下遇到困难。

随着人们对矿床研究的不断深入,逐步认识到很多矿床的形成往往经历了长期地质作用过程,具有非单一成因特点,这些矿床无论归入上述三类矿床中的哪一类都不完全合适,因此,应存在第四大类矿床,即复合成因矿床。应该说,关于特定矿床的复合成因,很早即有人论述,散见于各类文献中,但作为一个独立的大类提出来,二十世纪七十年代初的“层控热”即见其端。在我国正式提出,还是七十年代后

期-八十年代初的事。涂光炽(1979)提出多成因矿床的观点,他认为其内涵包括了成矿物质的多源性、多种成矿地质作用的参与、多阶段的成矿作用(可以相隔数亿年、十多亿年)和多种含矿溶液的混合,并提出了这类矿床的初步成因模式,大致有叠加成矿、活化或再造成矿、沉积-改造成矿和催化成矿等几种。陈国达在1977~1978年间已经提出多因复成矿床的概念,并在1982正式提出多因复成矿床的定义(陈国达, 1982),他认为:“多因复成矿床的主要特点是三多,即多成矿阶段、多物质来源以及多成因类型;产生多因复成矿床的不同成矿作用和成矿物质,可以来自同一含矿区内地壳演化过程中的不同基本阶段(如前地槽阶段、地槽阶段、地台阶段、地洼阶段等),也可以来自相同或不同基本阶段中不同的次级阶段(例如地洼区的早、中、晚期,如此类推)”,他还将这些矿床的成矿模式进一步划分为叠加富化、改造富化和再造富集等几种。后来的实践证明两位先生见解的前瞻性和深刻性,至今仍具有指导意义。陈先生在其去世前,还留下了一本专著《活化构造成矿学》(陈国达和杨心宜, 2003),是迄今为止关于这类矿床的最全面的总结。袁见齐等(1984)编著的《矿床学》一书把它称之为叠生矿床,第一次将其正式列入教科书中。

复合成因矿床在自然界的存在具有广泛性,加强对它的研究,将有助于阐明这类矿床的形成机理及成矿规律,同时也将突破单一成因观点的束缚,发现更多现象和事实,查明复杂成矿过程,深化成矿理论认识,进一步推动矿床学科的发展和找矿勘探的突破。

## 2 复合成矿过程

形成复合成因矿床的机理是多种多样的,陈国达和涂光炽等人已有较详尽的论述。根据这类矿床成矿过程特点,本文认为:叠加作用,改造作用,以及两者并存的叠改作用是复合成矿的基本因素,但成矿过程中的预富集作用亦具有重要意义,应予以重视。同时前人所提出的成矿作用的继承性和再生性,也不可忽视,特别是继承性和预富集联合多次出现时,可形成区域性大规模成矿富集。兹简述如下:

### 2.1 叠加成矿

矿床的成矿过程经历过两个或多个成矿期,在早期成矿作用的基础上,后期的岩浆活动、变质作用或其他地质作用带来新的成矿物质,叠加于其上,形成新的矿床。叠加成矿

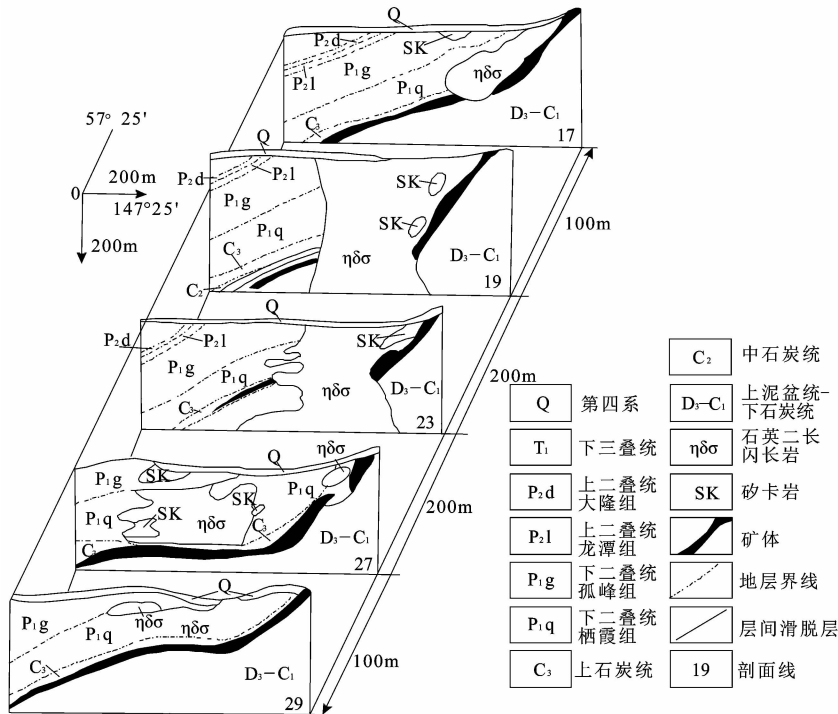


图1 新桥矿床联合剖面图(据唐永成等,1998)

Fig.1 Joint section maps of Xinqiao deposit (Tang *et al.*, 1998)

作用过程中也常出现改造成矿作用,两者结合共同出现时,称之为叠改造成矿作用。叠加成因矿床的特征常比较复杂,品位大都比早期矿高,常形成富矿。长江中下游地区以铜陵矿集区的新桥(图1)、冬瓜山和九瑞矿集区的城门山、武山矿床最具有代表性,伴随着砂卡岩-斑岩型铜金矿床产出(常印佛和刘学圭,1983;翟裕生等,1992)。

新桥铜金多金属矿床的成矿作用包括了海西期同生沉积成矿作用和燕山期与岩浆活动有关的热液成矿作用。前者是在早石炭世海侵之初,在潮坪洼地较还原的环境中,伴随碳酸盐的沉积或热泉(喷流)沉积形成了共生的胶黄铁矿层,奠定了后来矿床中硫矿体形成的基础(顾连兴等,1986;曾普胜等,2005);晚侏罗世-早白垩世广泛发育的强烈岩浆侵入及与之有关的热液活动,对矿床的最终形成起了主导作用,提供了Cu、Au等主要成矿物质,并且往往经历了与典型的接触交代(砂卡岩)矿床成矿作用相似的历程:即从砂卡岩阶段→磁铁矿阶段→(石英-)硫化物阶段→石英-碳酸盐阶段的演化。铜陵矿集区的冬瓜山、老鸦岭、大团山以及安庆矿集区的银珠凹矿床等都属于此类。其中冬瓜山、老鸦岭、大团山矿床都与砂卡岩共生,故被另称为层控砂卡岩型矿床,而银珠凹矿床内未出现岩体和砂卡岩,属于层控叠改型矿床,两者都是上述第四大类矿床中的两个类型。层控砂卡岩型矿床往往呈多层状产出,且与典型的接触交代矿和岩体内部细脉浸染矿共生,组成“三位多层”(三位是指岩体的内接触带、正接触带和外接触带三个部位)成矿模式(图2)。

## 2.2 改造成矿

后期的构造-流体作用使先成的矿(化)体受强烈改造形成新的矿床,称这类成矿过程为改造成矿作用。以改造成矿作用为主形成的复合成因矿床中,叠加成矿作用往往也较明显。它们由于各种原因被转移集中到某一有利层位或构造部位,形成更有工业价值的矿体,这些矿体多呈脉状、囊状,也可为层状、似层状或其他产状。上述金山式金矿即其一例,在长江中下游成矿带中典型实例是湖北黄梅菱铁矿矿床和南京栖霞山铅锌矿床。

黄梅菱铁矿床是由地下水溶液或热液,特别是含CO<sub>2</sub>的地下水作用,使先成矿体或含矿层富化所成的改造矿床,称之为“黄梅式”铁矿。其原矿是赋存于中石炭统黄龙组、下二叠统栖霞组及部分三叠系青龙群中的菱铁矿层,层位固定,菱铁矿呈青灰色,鲕粒较细,品位平均为33.83%。经过后期改造成矿作用,大部分青灰色菱铁矿已变为米黄色菱铁矿,颗粒变粗。品位也提高至39.25%(图3)。由于矿体未发生明显迁移,故称为原地式沉积改造矿床。

南京栖霞山铅锌矿成矿过程复杂,具异地成矿富集特征(图4),多数研究者认为也属于改造富集成矿,或称迁移式沉积改造矿床(常印佛等,1991)。

## 2.3 预富集成矿

成矿过程的早期,成矿物质在矿床最终定位前发生初步

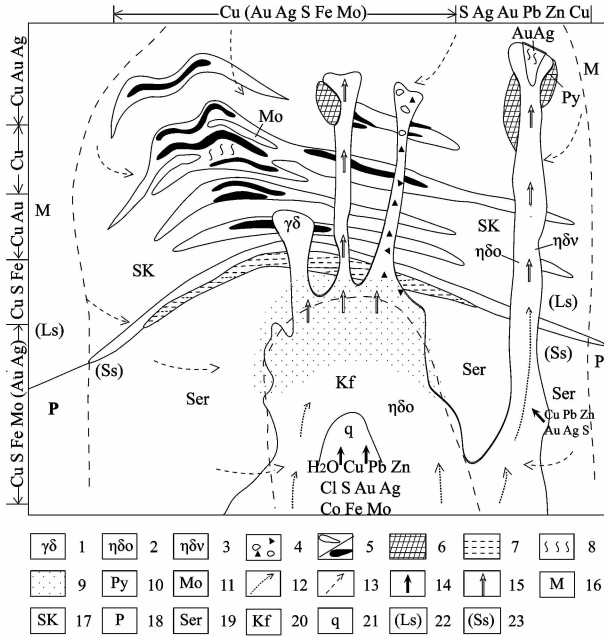


图2 安徽铜陵狮子山矿田成矿模式图(据唐永成等, 1998)

1-花岗岩闪长岩; 2-石英二长闪长岩; 3-辉石二长闪长岩; 4-隐爆角砾岩/角砾岩筒矽卡岩型矿床; 5-层间矽卡岩/层间矽卡岩型矿床; 6-接触矽卡岩/接触矽卡岩型矿床; 7-层控矽卡岩型/层控叠改型±接触矽卡岩型; 8-热液脉状型铜金矿床; 9-斑岩型铜矿床; 10-黄铁矿床; 11-钼矿床; 12-岩浆热液; 13-地下水/大气降水; 14-成矿元素迁移方向; 15-成矿流体; 16-大理岩化带; 17-矽卡岩化带; 18-青磐岩化带; 19-绢云母化带; 20-钾化带; 21-硅化带; 22-石灰岩; 23-砂页岩

Fig. 2 Metallogenetic model of Shizishan ore field, Tongling, Anhui Province (after Tang *et al.*, 1998)

1-granite diorite; 2-quartz monzonite diorite; 3-pyroxene monzonite diorite; 4-breccia/breccia pipes related skarn deposit; 5-intralayerd skarn/intralayerd skarn deposit; 6-contact skarn/ contact skarn deposit; 7-strata controlled skarn/strata controlled superposition and alteration skarn; 8-hydrothermal veins copper-gold deposit; 9-porphry copper deposit; 10-pyrite ore deposit; 11-molybdenum deposit; 12-magmatic fluid; 13-groundwater/precipitation; 14-moving direction of ore-forming elements; 15-ore-bearing hydrothermal fluids; 16-marble zone; 17-skarn zone; 18-propylitic alteration zone; 19-sericitization zone; 20-K-feldspar alteration zone; 21-silicification zone; 22-limestone; 23-sandstone and shale

富集,后期通过各种通道,搬运集中到某一有利层位或构造部位,从而进一步富集形成工业矿床,此种早期初步富集的过程称为预富集成矿。如长江中下游地区在中三叠世强烈蒸发环境下形成了广泛发育的膏盐层,其中含有大量的盐类组分。燕山期闪长质岩浆侵位过程中同化了膏盐层,吸收大量的Na、Ca、Cl、S等成矿活化剂,使岩浆和围岩中的大量铁质被释放运移,为形成矽卡岩铁矿提供了必要的准备条件,同

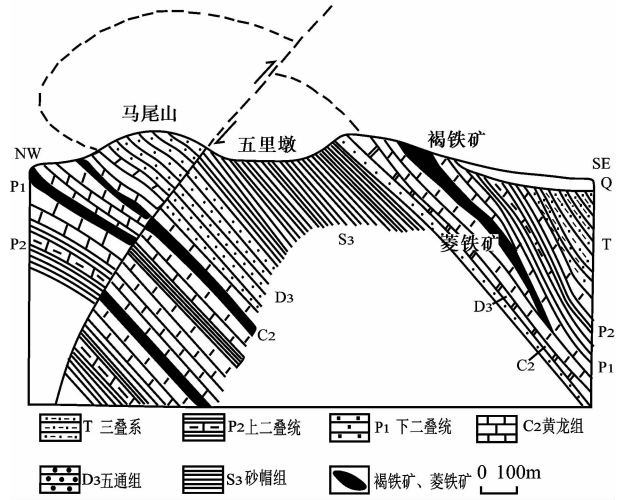


图3 湖北黄梅铁矿勘探线剖面图(据陈国达等,1982)  
Fig. 3 Exploration section map of Huangmei ore deposit, Hubei Province (after Chen *et al.*, 1982)

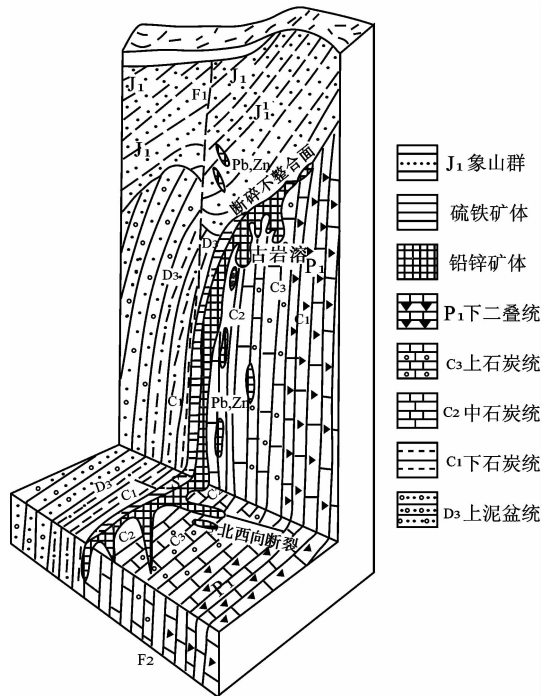


图4 江苏栖霞山铅锌矿床控矿构造立体示意图(据常印佛等,1991)  
Fig. 4 Stereoscopic sketch map of ore control structure of Qixiashan Zn-Pb deposit, Jiangsu Province (after Chang *et al.*, 1991)

时在膏盐层中或其上下也可直接形成铁矿床(如大冶,庐枞)(草广金,1978; 蔡本俊,1980)。

预富集成矿最突出的例子是金川铜镍硫化物矿床。研究表明该矿床硫化物在大约4~9km深度的中间岩浆房发生熔离作用和部分结晶作用(汤中立等,2006),分异为不含矿

岩浆、含矿岩浆、富矿岩浆和矿浆几部分,然后一次或多次上侵贯入成矿。金川矿床的形成经历了前期成矿作用的预富集以及之后的矿浆贯入成矿作用。经过深部熔离、结晶、分异后的不含矿岩浆的体积,比含矿岩浆、富矿岩浆和矿浆的体积要大得多,比照就地熔离的矿床而言,这种深部熔离贯入矿床的岩体体积小得多,含矿率和矿石品位也高得多,所以这种成矿作用导致形成小岩体、大矿床,即所谓的“小岩体成大矿”(图5)。

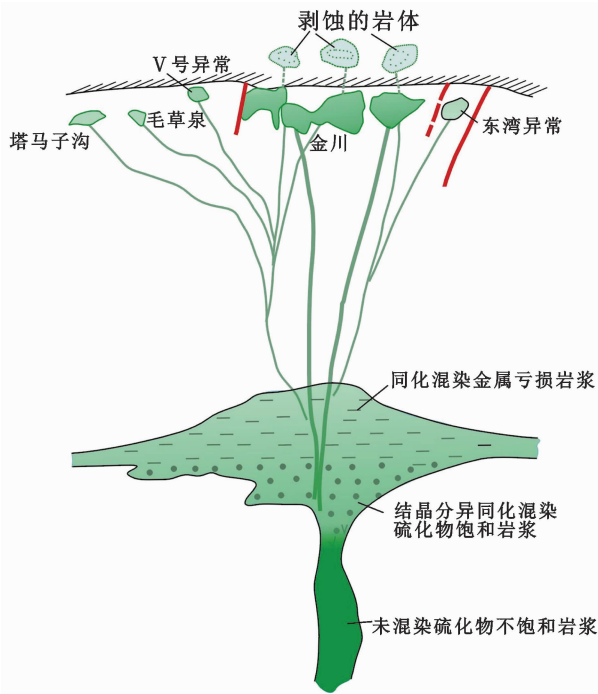


图5 甘肃金川铜镍硫化物矿床成矿模式图(据汤中立等, 2006)

Fig. 5 Metallogenetic model of Jinchuan Cu-Ni sulfide deposits, Gansu Province (after Tang *et al.*, 2006)

此外,常见的斑岩铜矿,斑岩体往往较小,而铜矿规模巨大,也可能经历了深部预富集过程。

## 2.4 其他复合成矿(继承成矿过程、再生成矿过程)

继承成矿是指同一地区内同一种成矿组经历了两次以上成矿作用过程,如前述华南地区钨矿,在加里东、印支、燕山三期岩浆活动中都有不同程度的富集,这可能与区域地球化学特征有关,即所谓地球化学块体(谢学锦和王学求, 2003),但前述三期成矿富集程度有“后来居上”的趋势,似乎又有预富集作用参与其中。

再生成矿是指那些早期形成的矿床(体)在后来的构造演化阶段中又活化迁移成矿,这本是早年 H. 施奈德洪提出的一个概念,在长江中下游尚乏确凿的实例,国外智利的拉科铁矿床据一些研究者认为可能属于此类。

## 2.5 复合成因矿床序列

复合成因矿床往往在典型岩浆热液矿床与典型沉积矿床两个端员之间组成一套过渡性矿床序列:层控矽卡岩型→沉积热液叠加型→层控叠改型→迁移式改造型→原地式改造型等,构造一个矿床“家族”,亦即上述第四大类矿床。

## 3 复合成矿过程与构造演化的关系

长江中下游成矿带位于两个前震旦基底的接合部位,其上接受了加里东和海西-印支旋回的盖层沉积,形成“一盖两底”的格局(常印佛等,1991,1996)。燕山运动期间,在印支造山带的前陆拗陷中,沿着这一基底接合带发生强烈的构造-岩浆活动,并进入成矿作用高潮,包括产出多种复合成因矿床,其形成经历了多个构造演化阶段和成矿作用过程,下面就复合成因矿床和构造演化的关系做一简要论述。

### 3.1 早期沉积作用

早期沉积作用常形成矿(胚)层、矿源层或有利的成矿介质。在震旦纪-中三叠世的盖层形成时期,长江中下游地区地壳频繁升降运动影响了沉积环境,也导致同生沉积成矿作用的多次出现。特别是加里东运动使下扬子海海底发生逆转,成矿带处于早古生代水下凸起和晚古生代海底沉陷部位,之间出现一陆上环境,并在海西早期海侵时形成“古铜陵(半)岛”(常印佛等,1991),沉积了多层铁的氧化物、硫化物和碳酸盐,它作为“矿胚层”在燕山期叠改成矿过程中具有重要意义,铜陵、九瑞矿集区主要铜矿即产于该层位。该区中三叠世海退期间广泛分布的膏(盐)沉积及菱铁矿在嗣后的成矿过程中也发挥了重要作用,可以看作有利的成矿介质和矿源层,鄂东南、安庆主要铜铁矿和宁芜、庐枞两盆地基底中的沉积热液叠加改造型铁矿床也与这套地层有关(常印佛等,1991)。石炭纪海侵早期也出现局部膏盐层沉积,如宁镇安基山和铜陵冬瓜山。

### 3.2 后期构造-岩浆作用

长江中下游成矿带具有多期成矿、以燕山期成矿为主的特点。燕山期成矿作用发生在特提斯体系转变成太平洋体系之后,区域构造的动力学机制由挤压性向引张性转变过渡阶段,并以强烈的走滑活动为特征,总体上受控于郯庐构造系及其派生构造。

根据燕山期构造-岩浆作用的时间和成岩成矿的特征,可划分为以下几个阶段:

#### (1) 前成矿阶段

燕山早期的晚侏罗世早期及其以前沉积了陆相碎屑岩建造,随着发生区域性挤压作用,形成较宽缓的褶皱及叠加在先存印支期褶皱之上的横跨褶皱,它们主体呈北北东向展

布,属于所谓新华夏构造体系。这一阶段未发生岩浆作用及相应的成矿作用,故称“前成矿阶段”

## (2) 成矿阶段

晚侏罗世晚期,区域主应力场开始由挤压向引张转变,沿着前述基底接合带(邓晋福认为它具有岩石圈不连续性)发生左行走滑运动,形成了一条控岩控矿构造带,被区内研究者命名为长江剪切带(徐树桐,1984)或长江断裂带——具有深断裂性质的断裂破碎带(常印佛等,1991)。它产生在先存的侏罗纪拗陷内(亦即印支大别造山带的前陆拗陷)。它的发展又经历了以下三个亚阶段:

### (2-1) 走滑挤压亚阶段(145~136Ma)

走滑活动开始具有挤压性质,在拗陷带内形成一系列次级凸起(或称断隆区)(图6、图7)。由北向南,依次为宁镇、铜陵、安庆-贵池及九江-瑞昌-阳新,作近东西方向(北西西-北东东),其中发育了以花岗闪长岩-石英闪长岩为主的高钾钙碱性中酸性侵入岩,伴随着矽卡岩-斑岩型铜金矿床的产出(杜建国等,2003;王彦斌等,2004;张达等,2006;杨晓勇,2006;谢智等,2007;张乐骏等,2008;周涛发等,2008;吴淦国等,2008;徐晓春等,2008;蒋少涌等,2010;宋传中等,2010)。研究表明,形成高钾钙碱性中酸性岩体的岩浆在演化过程中经历了复杂的壳幔相互作用过程(张旗等,2001;

王彦斌等,2004),有富集性质岩石圈地幔的贡献(袁峰等,2008;周涛发等,2008),岩浆作用特点也提示,铜-金等成矿物质可能由富集性质岩石圈地幔提供,但也不排除接合带北侧变质基底可以提供部分来源(图6、图8)。

### (2-2) 走滑引张亚阶段(135~127Ma)

早白垩世中期,区域应力场由走滑挤压转向走滑引张性质,在拗陷带形成了一系列次级凹陷(或称断陷区)(图6、图7)。由北向南,依次为宁芜、繁昌、庐枞、怀宁和金牛等火山盆地,主要为北北东向,它们具有拉分盆地的性质,其中发育了一套橄榄安粗岩质火山-侵入岩,产生了以著名的“玢岩铁矿”组合(图9)为特征的火山-次火山热液型、矿浆型和沉积改造型等铁、硫、硬石膏和明矾石矿床(宁芜玢岩铁矿编写组,1977;周涛发等,2008,2010;范裕等,2010)。地球化学特征显示橄榄安粗岩质火山-侵入岩形成于软流圈上涌和岩石圈伸展-减薄环境(王元龙等,2001;Chen *et al.*, 2001; Xie *et al.*, 2008)岩浆源区已经由岩石圈地幔过渡为软流圈地幔(袁峰等,2008)。庐枞盆地的双庙组火山岩、金牛盆地大寺组火山岩和繁昌盆地蝌蚪山组火山岩均具有双峰式面貌,指示火山岩盆地演化的后期构造环境已具有引张特征(袁峰等,2008; Xie *et al.*, 2008)。

### (2-3) 引张亚阶段(126~123Ma)

长江中下游成矿带在126~123Ma发生正长质岩浆侵入活动,以产出A型花岗岩为典型代表,这些岩石既可以产出于断隆区,又可以产出于断陷区(楼亚儿和杜杨松,2006;范裕等,2008;周涛发等,2008);同时期断陷区内还产出碱性火山岩,如庐枞盆地最晚期浮山组火山岩和宁芜盆地最晚期娘娘山组火山岩,均指示此时引张构造背景已占主导地位。该阶段发育的矿化主要为Fe、Au、Mo、U等多金属矿化。

### (3) 后成矿阶段(引张阶段)(123Ma以后)

此阶段在研究区形成一系列红盆(似盆地格局),除个别地段出现少量玄武岩外,基本上无岩浆活动和内生矿作用,喜马拉雅期本区部分地段出现逆冲推覆体,有时可把红盆基底中的矿床上推至浅表,成为深部找矿中值得关注的一个方向。

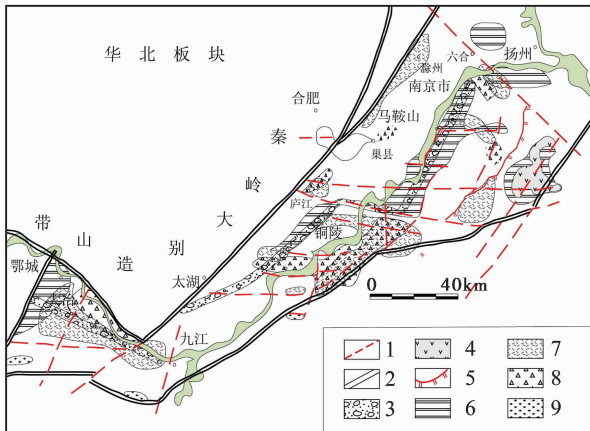


图6 长江中下游构造成矿略图(据常印佛等,1991)

1-基底断裂及大断裂;2-深断裂及由基底断裂发展的深断裂;3-由基底断裂发展形成的具深断裂性质的断裂破碎带;4-火山岩盆地;5-晚期冲断层及扭断层;6-以铁为主的矿化带;7-以铜(金)为主兼有钨钼的矿化带;8-以铅锌为主兼有菱铁矿的矿化带;9-以铋金为主兼有砷汞的矿化带

Fig. 6 Metallogenetic-tectonic sketch map of the Middle-Lower Yangtze River Valley area (after Chang *et al.*, 1991)

1-basement faults and regional faults; 2-deep faults and deep faults evolved from basement faults; 3-fractured zone with deep fault characteristics formed by the development of basement faults; 4-volcanic basins; 5-later thrust and twist faults; 6-Fe priority mineralization zone; 7-Cu (Au) priority with W-Mo mineralization zone; 8-Pb-Zn priority with siderite mineralization zone; 9-Sb-Au priority with As-Hg mineralization zone

## 4 需深化研究的问题

长江中下游成矿带的形成与构造体制和机制的转换有关,以往的研究已取得多方面成果,但仍存在有待深入研究的诸多重要科学问题,主要有:

(1) 复合成矿在构造体制转换背景下固然有其代表性或标志性意义,但在做区域成矿分析时,仍须从整体考虑。本文所涉及的主要是浅部成矿过程,关于成矿的深部过程及其与浅部过程的关系,如制约、互动以及浅部走滑作用的深部背景等,仍须深入研究;

(2) 长江中下游成矿带成矿时间局限在大约25Ma范围内,大规模成矿作用发生于构造体制转化之后,明显的滞后,

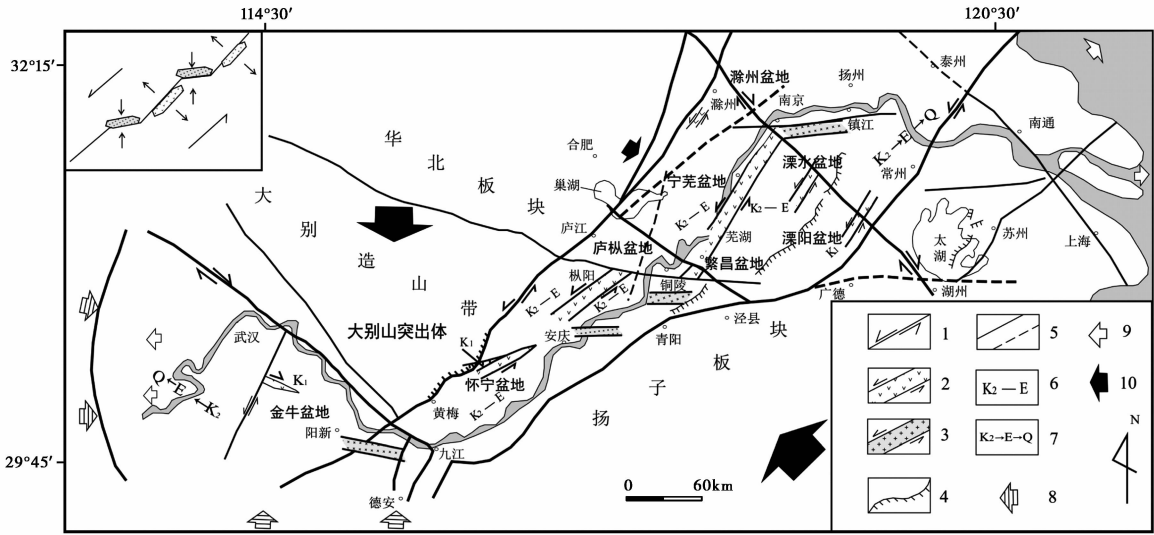


图7 长江中下游中生代隆拗格局示意图(据常印佛等,1991)

1-平移断层; 2-火山盆地; 3-隆起区; 4-逆掩断层及推覆方向; 5-断层及推测断层; 6-上白垩统-第三系盆地; 7-盆地迁移方向; 8-阻力方向; 9-伸展方向; 10-T<sub>2</sub>-K 期间挤压应力方向

Fig. 7 Upheaval-hollow sketch map of the Middle-Lower Yangtze River Valley area (after Chang *et al.*, 1991)

1-strike-slip fault; 2-volcanic basins; 3-uplifted districts; 4-over thrust faults and its antidromic direction; 5-faults and predicted faults; 6-Early Cretaceous-Tertiary basin; 7-basin migration direction; 8-resistance direction; 9-stretching direction; 10-compressive stress direction in the T<sub>2</sub>-K Period

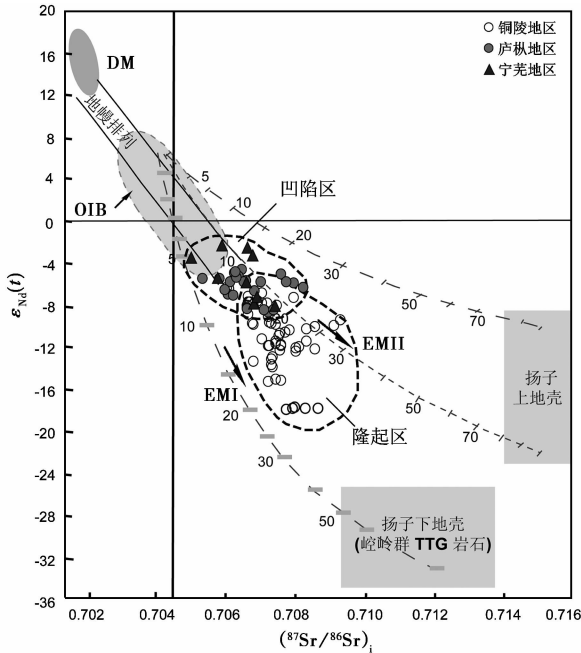


图8 安徽沿江地区富碱侵入岩  $\epsilon_{Nd}-I_{Sr}$  图(据周涛发等, 2010)

Fig. 8  $\epsilon_{Nd}-I_{Sr}$  diagram of alkali-rich intrusion in along the Yangtze River area of Anhui Province (after Zhou *et al.*, 2010)

两者之间的关系及其演变过程,也有待于进一步确定;

(3) 对于成矿过程而言,深部主要是提供成矿物质,所以重要的问题是深部过程中在何种条件下最有利于成矿组份



图9 玢岩铁矿理想模式图(据宁芜研究项目编写小组, 1977)

1-青龙群石灰岩; 2-黄马青组砂页岩; 3-象山群砂岩; 4-龙王山、大王山旋回火山岩; 5-辉长闪长玢岩; 6-辉长闪长岩; 7-蚀变分带界线; 8-角砾岩化带及角砾状矿石; 9-块状矿石; 10-镜铁矿或磁铁矿脉; 11-层状铁矿; 12-黄铁矿化; 13-浸染状磁铁矿化; ①-龙旗山式; ②-竹园山式; ③-龙虎山式; ④-梅山式; ⑤-凹山式; ⑥-陶村式; ⑦-向山式; ⑧-姑山式、凤凰山式; I-下部浅色蚀变带; II-中部深色蚀变带; III-上部浅色蚀变带

Fig. 9 Metallogenetic model of porphyry iron deposits (after CTNWPID, 1977)

1-Qinglong Group limestone; 2-Huangmaqing Formation sandstone and shale; 3-Xiangshan Group sandstone; 4-Longwangshan and Dawangshan Formation volcanic rocks; 5-gabbro diorite porphyry; 6-gabbro diorite; 7-boundaries of the alteration zones; 8-brecciation zone and breccia-bearing ore; 9-massive ore; 10-specularite or magnetite veins; 11-layered iron ore; 12-pyritization; 13-disseminated magnetite alteration; ①-Longqishan style; ②-Zhuyuanshan style; ③-Longhushan style; ④-Meishan style; ⑤-Washan style; ⑥-Taocun style; ⑦-Xiangshan style; ⑧-Gushan style and Fenghuangshan style. I - light-color alteration zone at the lower part; II - dark-color alteration zone at the central part; III - light-color alteration zone at the upper part

从深部释放出来并得到初步聚集? 成矿组份上升的主要驱动力是什么性质?

(4) 长江中下游不能代表中国东部构造体制转换期间成矿作用的全貌, 需要将该区与东部其他成矿带进行比较研究, 找出进一步深化研究的关键问题并加以解决, 从而构筑在“大陆再造”背景下“成矿再造”的理论认识, 因而关于复合矿床的研究就显得更有意义。

## References

- Cao GJ. 1977. The relationship of gypsum salt beds with endogenic copper and iron ores in the Middle-Lower Yangtze Valley. *Geology and Prospecting*, 1(1): 26–33 (in Chinese with English abstract)
- Chai BJ. 1980. The relationship of gypsum salt beds with endogenic copper and iron ores in the Middle-Lower Yangtze Valley. *Geochimica*, 1(2): 1–25 (in Chinese with English abstract)
- Chang YF and Liu XG. 1983. On strata-bound skarn deposits. *Mineral Deposits*, 2(1): 11–20 (in Chinese with English abstract)
- Chang YF, Liu XP and Wu YC. 1991. *Metallogenic Belt of the Middle and Lower Yangtze River*. Beijing: Geological Publishing House, 71–76 (in Chinese)
- Chang YF, Dong SW and Huang DZ. 1996. On tectonics of “polybasement with one cover” in Middle-Lower Yangtze craton China. *Volcanology & Mineral Resources*, 17(1–2): 1–15 (in Chinese with English abstract)
- Chen GD. 1982. Formation mechanism and crust evolution regularity of polygenetic compound deposit. *Geotectonica Et Metallogenia*, 6(1): 32–55 (in Chinese with English abstract)
- Chen GD. 2000. Problems on polygenetic compound deposit. *Geotectonica et Metallogenia*, 24(3): 199–201 (in Chinese with English abstract)
- Chen GD and Yang XY. 2003. *Activated Technometallogeny*. Changsha: Hunan Educational Publication, 1–691 (in Chinese)
- Chen JF, Yan J, Xie Z, Xu X and Xing F. 2001. Nd and Sr isotopic compositions of igneous rocks from the Lower Yangtze region in eastern China; Constraints on sources. *Physics and Chemistry of the Earth, Part A: Solid Earth and Geodesy*, 26(9–10): 719–731
- Compilation Team of Ning-Wu Porphyrite Iron Deposit (CTNWPID). 1977. *Magnetite Porphyry Deposits in Ningwu area*. Beijing: Geological Publishing House, 1–196 (in Chinese)
- Du JG, Dai SQ, Mo XX, Deng JF and Xu W. 2003. Petrogenic and metallogenic settings of area along Yangtze River in Yanshanian, Anhui Province. *Earth Science Frontiers*, 10(4): 551–560 (in Chinese with English abstract)
- Fan Y, Zhou TF, Yuan F, Qian CC, Lu SM and Cooke DR. 2008. LA-ICP-MS zircon U-Pb ages of the A-type granites in the Lu-Zong (Lujiang-Zongyang) area and their geological significances. *Acta Petrologica Sinica*, 24(8): 1715–1724 (in Chinese with English abstract)
- Fan Y, Zhou TF, Yuan F, Tang HM, Zhang LJ, Ma L and Xie J. 2010. High sulfidation epithermal hydrothermal system in Lu-Zong volcanic basin; Evidence from geological characteristics and sulfur isotope data of Fanshan alunite deposit. *Acta Petrologica Sinica*, 26(12): 3657–3666 (in Chinese with English abstract)
- Gu LX and Xu KQ. 1986. On the carboniferous submarine massive sulfide deposits in the Lower Reaches of the Changjiang (Yangtze) River. *Acta Geologica Sinica*, 66(2): 176–188 (in Chinese with English abstract)
- Jiang SY, Sun Y, Sun ZM, Bian LC, Xiong YG, Yang SY, Luo L, Cao ZQ and Wu YM. 2010. Reiterative fault systems and superimposed mineralization in the Jiurui metallogenic cluster district, Middle and Lower Yangtze River mineralization belt, China. *Acta Petrologica Sinica*, 26(9): 2615–2625 (in Chinese with English abstract)
- Lindgren W. 1933. *Mineral Deposits*. New York and London: McGraw-Hill Book Company, INC
- Lou YE and Du YS. 2006. Characteristics and zircon SHRIMP U-Pb ages of the Mesozoic intrusive rocks in Fanchang, Anhui Province. *Geochimica*, 35(4): 359–366 (in Chinese with English abstract)
- Song CZ, Lin SF, Zhou TF, Yan J, Ren SL, Li JH, Tu WC, Zhang Y and Zhang H. 2010. Mesozoic tectonic regime transition of the Middle and Lower Reaches of the Yangtze River and its adjacent area. *Acta Petrologica Sinica*, 26(9): 2774–2781 (in Chinese with English abstract)
- Tang YC, Wu YC, Chu GZ, Xing FM, Wang YM, Cao FY and Chang YF. 1998. *Geology of Copper-Gold Polymetallic Deposits in the Along-Changjiang Area of Anhui Province*. Beijing: Geological Publishing House, 60–85 (in Chinese)
- Tang ZL, Yan HQ, Jiao JG and Li XH. 2006. New classification of magmatic sulfide deposits in China and ore-forming processes of small intrusive bodies. *Mineral Deposits*, 25(1): 1–9 (in Chinese with English abstract)
- Tu GC. 1979. Problems on polygenetic compound deposit. *Geology and Prospecting*, 6(1): 1–5 (in Chinese with English abstract)
- Wang YB, Liu DY, Meng YF, Zeng PS, Yang ZS and Tian SH. 2004. SHRIMP U-Pb geochronology of the Xinqiao Cu-S-Fe-Au deposit in the Tongling ore district, Anhui. *Geology in China*, 25(2): 87–91 (in Chinese with English abstract)
- Wang YL, Zhang Q and Wang Y. 2001. Geochemical characteristics of volcanic rocks from Ningwu area, and its significance. *Acta Petrologica Sinica*, 17(4): 565–575 (in Chinese with English abstract)
- Wu GG, Zhang D, Di YJ, Zhang WS, Zhang XX, Song B and Zhang ZY. 2008. SHRIMP Zircon U-Pb dating of intrusions in Tingling ore district and its dynamic background. *Science in China (Series D)*, 38(5): 630–645 (in Chinese)
- Xie GQ, Mao JW, Li RL and Bierlein FP. 2008. Geochemistry and Nd-Sr isotopic studies of Late Mesozoic granitoids in the southeastern Hubei Province, Middle-Lower Yangtze River belt, eastern China; Petrogenesis and tectonic setting. *Lithos*, 104(1–4): 216–230
- Xie XJ and Wang XQ. 2003. Recent developments on deep penetrating geochemistry. *Earth Science Frontiers*, 10(1): 226–240 (in Chinese with English abstract)
- Xie Z, Li QZ, Chen JF and Gao TS. 2007. The geochemical characteristics of the early-cretaceous volcanics in Luzhong region and their source significances. *Geological Journal of China Universities*, 13(2): 235–249 (in Chinese with English abstract)
- Xu ST. 1987. *Evolution and Movement of Major Structure Element in Anhui Province*. Beijing: Ocean Press, 1–165 (in Chinese)
- Xu XC, Lu SM, Xie QQ, Bo L and Chu GZ. 2008. SHRIMP zircon U-Pb dating for the magmatic rocks in Shizishan ore-field of Tongling, Anhui Province, and its geological implications. *Acta Geologica Sinica*, 82(4): 500–510 (in Chinese with English abstract)
- Yang XY. 2006.  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  dating and geological significance on the Cu-bearing porphyrite of Shaxi from southern Tan-Lu fault belt. *Journal of Mineralogy and Petrology*, 26(2): 52–56 (in Chinese with English abstract)
- Yao FL and Sun FY. 2006. *Mineral Deposits*. Beijing: Geological Publishing House, 1–254 (in Chinese with English abstract)
- Yuan F, Zhou TF, Fan Y, Lu SM, Qian CC, Zhang LJ, Duan C and Tang MH. 2008. Source, evolution and tectonic setting of Mesozoic volcanic rocks in Luzong basin, Anhui Province. *Acta Petrologica Sinica*, 24(8): 1691–1702 (in Chinese with English abstract)
- Yuan JQ, Zhu SQ and Zhai YS. 1984. *Mineral Deposits*. Beijing: Geological Publishing House, 1–198 (in Chinese)
- Zhai YS, Yao SC and Lin XD. 1992. *Iron Copper Deposits in the Middle and Lower Reaches of Changjiang River*. Beijing: Geological Publishing House, 1–120 (in Chinese)
- Zhang D, Wu XG, Di YJ, Zhang WQ, Shao YJ, Yu XQ, Zhang XX and Wang QF. 2006. Emplacement dynamics of Fenghuangshan Pluton (Tongling, Anhui Province): Constraints from U-Pb SHRIMP dating of zircons and structural deformation. *Geoscience*, 31(6): 823–



830 (in Chinese with English abstract)

Zhang LJ, Zhou TF, Fan Y and Yuan F. 2008. SHRIMP U-Pb zircon dating of Yueshan intrusion in the Yueshan ore field, Anhui, and its significance. *Acta Petrologica Sinica*, 24(8): 1725 - 1732 (in Chinese with English abstract)

Zhang Q, Wang Y, Qian Q, Yang JH, Wang YL, Zhao TP and Guo GH. 2001. The characteristics and tectonic-metallogenic significances of the adakites in Mesozoic from eastern China. *Acta Petrologica Sinica*, 17(2): 236 - 244 (in Chinese with English abstract)

Zheng PS, Pei RF, Hou ZQ, Meng YF, Yang ZS, Tian SH, Xu WY and Wang XC. 2005. The Dongguashan deposit in the Tongling mineralization cluster area, Anhui: A large-sized Superimposition-type copper deposit. *Acta Geologica Sinica*, 79(1): 106 - 114 (in Chinese with English abstract)

Zhou TF, Fan Y and Yuan F. 2008. Advances on petrogenesis and metallogeny study of the mineralization belt of the Middle and Lower Reaches of the Yangtze River area. *Acta Geologica Sinica*, 24(8): 1665 - 1678 (in Chinese with English abstract)

Zhou TF, Fan Y, Yuan F, Song CZ, Zhang LJ, Qian CC Lu SM and Cooke DR. 2010. Temporal-spatial framework of magmatic intrusions in Luzong volcanic basin in East China and their constrain to mineralizations. *Acta Petrologica Sinica*, 26(9): 2694 - 2714 (in Chinese with English abstract)

## 附中文参考文献

蔡本俊. 1980. 长江中下游地区内生铁铜矿床与膏盐的关系. *地球化学*, 1(2): 1 - 25

草广金. 1977. 长江中下游及华北地区内生铁铜矿床与膏盐的关系. *地质与勘探*, 1(1): 26 - 33

常印佛, 刘学圭. 1983. 关于层控式砂卡岩型矿床——以安徽省内下扬子拗陷中一些矿床为例. *矿床地质*, 2(1): 11 - 20

常印佛, 刘湘培, 吴言昌. 1991. 长江中下游铜铁成矿带. 北京: 地质出版社, 71 - 76

常印佛, 董树文, 黄德志. 1996. 论中-下扬子“一盖多底”格局与演化. *火山地质与矿产*, 17(1-2): 1 - 15

陈国达. 1982. 多因复成矿床并从地壳演化规律看其形成机理. *大地构造与成矿学*, 6(1): 32 - 55

陈国达. 2000. 关于多因复成矿床的一些问题. *大地构造与成矿学*, 24(3): 199 - 201

陈国达, 杨心宜. 2003. 活化构造成矿学. 长沙: 湖南教育出版社, 1 - 691

杜建国, 戴圣潜, 莫宣学, 邓晋福, 许卫. 2003. 安徽沿江地区燕山期火成岩成矿地质背景. *地学前缘*, 10(4): 551 - 560

范裕, 周涛发, 袁峰, 钱存超, 陆三明, Cooke DR. 2008. 安徽庐江-枞阳地区 A 型花岗岩的 LA-ICP MS 定年及其地质意义. *岩石学报*, 24(8): 1715 - 1724

范裕, 周涛发, 袁峰, 唐敏惠, 张乐骏, 马良, 谢杰. 2010. 庐枞盆地高硫化型浅成低温热液成矿系统: 来自矾山明矾石矿床地质特征和硫同位素地球化学的证据. *岩石学报*, 26(12): 3657 - 3666

顾连兴, 徐克勤. 1986. 论长江中、下游中石炭世海底块状硫化物矿床. *地质学报*, 66(2): 176 - 188

蒋少涌, 孙岩, 孙明志, 边立曾, 熊永根, 杨水源, 罗兰, 曹钟清, 吴亚民. 2010. 长江中下游成矿带九瑞矿集区叠合断裂系统和叠加成矿作用. *岩石学报*, 26(9): 2615 - 2625

楼亚儿, 杜杨松. 2006. 安徽繁昌中生代侵入岩的特征和锆石 SHRIMP 测年. *地球科学*, 35(4): 359 - 366

宁芜研究项目编写小组. 1977. 宁芜玢岩铁矿. 北京: 地质出版社,

1 - 196

宋传中, Lin SF, 周涛发, 闫峻, 任升莲, 李加好, 涂文传, 张妍, 张欢. 2010. 长江中下游及其邻区中生代构造体制转换. *岩石学报*, 26(9): 2774 - 2781

汤中立, 闫海卿, 焦建刚, 李小虎. 2006. 中国岩浆硫化物矿床新分类与小岩体成矿作用. *矿床地质*, 25(1): 1 - 9

唐永成, 吴言昌, 储国正, 邢凤鸣, 王永敏, 曹奋扬, 常印佛. 1998. 安徽沿江地区铜金多金属矿床地质. 北京: 地质出版社, 60 - 85

涂光炽. 1979. 矿床的多成因问题. *地质与勘探*, 6(1): 1 - 5

王彦斌, 刘敦一, 蒙义峰, 曾普胜, 杨竹森, 田世洪. 2004. 安徽铜陵新桥铜-硫-铁-金矿床中石英闪长岩和辉绿岩锆石 SHRIMP 年代学及其意义. *中国地质*, 25(2): 87 - 91

王元龙, 张旗, 王焰. 2001. 宁芜火山岩的地球化学特征及其意义. *岩石学报*, 17(4): 565 - 575

吴淦国, 张达, 狄永军, 臧文拴, 张祥信, 宋彪, 张忠义. 2008. 铜陵矿集区侵入岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄及其深部动力学背景. *中国科学(D辑)*, 38(5): 630 - 645

谢学锦, 王学求. 2003. 深穿透地球化学新进展. *地学前缘*, 10(1): 226 - 240

谢智, 李全忠, 陈江峰, 高天山. 2007. 庐枞早白垩世火山岩的地球化学特征及其源区意义. *高校地质学报*, 13(2): 235 - 249

徐树桐. 1987. 安徽省主要构造要素的变形和演化. 北京: 海洋出版社, 1 - 165

徐晓春, 陆三明, 谢巧勤, 柏林, 储国正. 2008. 安徽铜陵狮子山矿田岩体锆石 SHRIMP 定年及其成因意义. *地质学报*, 82(4): 500 - 510

杨晓勇. 2006. 郟庐断裂带南段沙溪含铜斑岩体的<sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar年代学研究及其意义. *矿物岩石*, 26(2): 52 - 56

姚凤良, 孙丰月. 2006. 矿床学教程. 北京: 地质出版社, 1 - 254

袁峰, 周涛发, 范裕, 陆三明, 钱存超, 张乐骏, 段超, 唐敏惠. 2008. 庐枞盆地中生代火山岩的起源、演化及形成背景. *岩石学报*, 24(8): 1691 - 1702

袁见齐, 朱上庆, 翟裕生. 1984. 矿床学. 北京: 地质出版社, 1 - 198

翟裕生, 姚书振, 林新多. 1992. 长江中下游地区铁铜矿床. 北京: 地质出版社, 1 - 120

张达, 吴淦国, 狄永军, 臧文拴, 邵拥军, 余心起, 张祥信, 汪群峰. 2006. 铜陵凤凰山岩体 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄与构造变形及其对岩体侵位动力学背景的制约. *地球科学*, 31(6): 823 - 830

张乐骏, 周涛发, 范裕, 袁峰. 2008. 安徽月山岩体的锆石 SHRIMP U-Pb 定年及其意义. *岩石学报*, 24(8): 1725 - 1732

张旗, 王焰, 钱青, 杨进辉, 王元龙, 赵太平, 郭光军. 2001. 中国东部燕山期埃达克岩的特征及其构造-成矿意义. *岩石学报*, 17(2): 236 - 244

曾普胜, 裴荣富, 侯增谦, 蒙义峰, 杨竹森, 田世洪, 徐文艺, 王训诚. 2005. 安徽铜陵矿集区冬瓜山矿床: 一个叠加改造型铜矿. *地质学报*, 79(1): 106 - 114

周涛发, 范裕, 袁峰. 2008. 长江中下游成矿带成岩成矿作用研究进展. *岩石学报*, 24(8): 1665 - 1678

周涛发, 范裕, 袁峰, 宋传中, 张乐骏, 钱存超, 陆三明, Cooke DR. 2010. 庐枞盆地侵入岩的时空格架及其对成矿的制约. *岩石学报*, 26(9): 2694 - 2714