

文章编号:0258-7106 (2009) 01-0109-11

长江中下游成矿带铜陵矿集区铜多金属矿床模型^{*}

毛景文¹, 邵拥军², 谢桂青¹, 张建东², 陈毓川³

(1 中国地质科学院矿床资源研究所 国土资源部成矿作用和资源评价重点实验室, 北京 100037;

2 中南大学地学与环境工程学院, 湖南 长沙 410083; 3 中国地质科学院, 北京 100037)

摘 要 通过对长江中下游成矿带的系统考察和对前人资料的阅读和研究, 聚焦铜陵矿集区, 初步提出了一个可以涵盖不同类型矿床的矿床模型。该模型表达为: 在早白垩世高钾钙碱性花岗岩侵位过程中, 通过岩浆的分馏演化, 在岩体隆起部位及其内外接触带形成斑岩-矽卡岩型矿床, 由于广泛发育石炭纪至三叠纪碳酸盐岩, 钙质和镁质矽卡岩型矿床是最主要的矿床类型。作为斑岩-矽卡岩型矿床系统的一部分, 在斑岩-矽卡岩铜金钼矿床外围分布有矽卡岩铜金矿床、脉状金矿床以及脉状铅锌银矿床。长江中下游地区在三叠纪曾作为大别-苏鲁造山带的前陆盆地, 在后碰撞时期出现了大量滑覆构造和扩容空间, 它们在不整合界面处十分发育。因此, 在成矿过程中不仅形成了像新桥那样的厚大矿体, 而且在位于不整合界面附近的矽卡岩往往退化蚀变成为具有典型层纹状和曲卷状构造的退化蚀变岩和矿石, 甚至沿一些层位交代形成了层控矽卡岩型或 Manto 型矿体。此外, 还提出了运用该模型开展勘查评价的建议。

关键词 地质学; 矿床模型; 斑岩-矽卡岩矿床; 铜陵地区; 长江中下游地区

中图分类号: P618.41

文献标志码: A

Mineral deposit model for porphyry-skarn polymetallic copper deposits in Tongling ore dense district of Middle-Lower Yangtze Valley metallogenic belt

MAO JingWen¹, SHAO YongJun², XIE GuiQing¹, ZHANG JianDong² and CHEN YuChuan³

(1 MLR Key Laboratory of Metallogeny and Mineral Assessment, Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China; 2 School of Geosciences and Environmental Engineering, Central South University, Changsha 410083, Hunan, China; 3 Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China)

Abstract

According to field investigations of major ore deposits along the Middle-Lower Yangtze Valley metallogenic belt and a detailed study of the data available, the authors put forward a mineral deposit model based on the Tongling ore district, the largest ore cluster in the belt. The porphyry-skarn Cu-Au-Mo ore bodies developed around the roof pendants of the high-potash calc-alkaline granitoids have experienced strong fractionation. Since there are extensively distributed Carboniferous-Permian carbonates, both calcic and magnesian skarn deposits have most important economic significance. As components of the porphyry-skarn system, the skarn and vein-like gold deposits and veinlike Pb-Zn-Ag deposits are distributed outward gradually from the intrusion and the porphyry-skarn Cu-Au-Mo ore

^{*} 本文得到国家重点基础研究课题(2007CB411405 和 2007CB411407)、国土资源大调查项目(1212010634001)和国家自然科学基金重点基金(40434011)联合资助

第一作者简介 毛景文,男,1956 年生,博士,教授,从事矿床地质和地球化学研究。Email: jingwenmao@263.net

收稿日期 2009-02-02;改回日期 2009-03-02。张绮玲编辑。

deposits. Because the Middle-Lower Yangtze Valley belt was a foreland basin during the collision between the South China massif and the North China craton and subsequently a depression belt during the post-collision with a lot of decollement and detachment faults, especially along the discontinuity boundary which occupied a large space, the large ore bodies must have been formed along the large space, such as the major ore body in the Xinqiao S-Cu-Au polymetallic mine. The strong retrograde alteration, consisting of actinolite-tremolite-chlorite-epidote or serpentine-Mg-chlorite-talc-tremolite with typical wriggly and laminated structures along either fractures or discordant boundary, replaced the skarn at the contact with the granitoid intrusion. There are also a lot of Manto or stratabound skarn ore bodies replacing some carbonate layers of different ages. This paper also indicates the correct utilization of the model together with some types of geochemical and geophysical technologies for further prospecting in similar tectonic settings.

Key words: geology; mineral deposit model, porphyry-skarn deposit, Tongling ore district, Middle-Lower Yangtze Valley metallogenic belt

长江中下游地区是中国一个重要的 Cu-Fe-Au-Mo 矿产走廊,成矿时代主要分为早白垩世斑岩-矽卡岩型 Cu-Fe-Au-Mo 矿床(144~135Ma)和白垩纪中期的磷灰石-磁铁矿矿床(125~123 Ma)(余金杰等, 2002;Mao et al., 2006a)。前人曾对后一类型矿床进行了深入研究,提出了著名的玢岩铁矿模式(宁芜玢岩铁矿编写小组,1978)。迄今为止,对于前一类型矿床成因的争议仍在进行之中,争议的原因是在斑岩-矽卡岩型矿床内部发育一些层状矿体,并发现一些同生成矿的证据。在长江中下游成矿带,早白垩世斑岩-矽卡岩型 Cu-Fe-Au-Mo 矿床主要集中在鄂东南、九瑞、安庆-贵池、铜陵和宁镇 5 个大型矿集区,从铜矿规模和成矿复杂性等方面均以铜陵矿集区为代表。过去十年,对于铜陵矿集区进行了多方面的研究,尤其是开展了深部地球物理结构探测和流体填图(吕庆田等,2004;蒙义峰等,2004b),并对花岗质岩石进行了系统的同位素年龄精测(王彦斌等,2004a;2004b;2004c;吴淦国等,2008)。基于近十年来对长江中下游成矿带各大矿集区主要矿床的野外观察和系统地阅研前人的资料,本文以铜陵大型矿集区为对象,初步论述并提出了铜陵矿集区的矿床模型,旨在推动在类似地质环境中开展的找矿评价工作。

1 区域地质背景

长江中下游成矿带的南缘为阳兴-常州大断裂,北侧以襄樊-广济大断裂及庐庐大断裂为界,是中国一个重要的 Cu-Au-Fe-Mo 成矿带,从西向东有鄂东南、九瑞、安庆—贵池、铜陵、庐枞、宁芜和宁镇几个大中型

矿集区(图 1)。EW 向和 NNE 向 2 组构造在成矿带内最发育,明显控制着燕山期岩浆活动和矿床分布,尤其是两组构造的交汇部位(翟裕生等,1992)。长江中下游成矿带内出露的地层有零星分布的前震旦纪变质基底和震旦纪碎屑岩、白云岩和硅质岩,广泛发育有寒武纪至早三叠世的碎屑岩和碳酸盐岩及侏罗纪—白垩纪陆相火山岩夹碎屑岩(常印佛等,1991),其中,石炭纪、二叠纪和早三叠世碳酸盐岩是 Cu-Au-Mo-Fe 多金属矿化最重要的围岩。

在长江中下游地区发育有 3 种类型的中生代花岗质岩石(周涛发等,2008):① 与 Cu-Au-Mo-Fe 多金属矿化有关的高钾钙碱性侵入岩系列,由辉长岩、闪长岩、石英闪长岩和花岗闪长岩等组成,属于 I 型或磁铁矿型花岗质岩类(Pei et al., 1995;Xie et al., 2008;Zhou et al., 2007),最近部分学者称其为埃达克质岩石(张旗等,2001);② 与玢岩铁矿有关的富钠钙碱性闪长岩类,包括辉石闪长玢岩、闪长玢岩及其相应的喷出岩(常印佛等,1991);③ A 型花岗岩类,包括石英正长岩、正长岩、石英二长岩、碱性花岗岩及相应的喷出岩(唐永成等,1998;范裕等,2008),这套岩石与金矿关系密切。

2 铜陵地区地质及矿床特征

在铜陵矿集区,出露的地层主要为志留系至第四系,累计厚度大于 4 500 m。区内志留系主要为深海-浅海相的页岩和砂岩;中下泥盆统缺失,上泥盆统五通组砂岩、细砂岩和粉砂岩;石炭系黄龙组和船山组碳酸盐岩;二叠系至下三叠统发育比较齐全,除

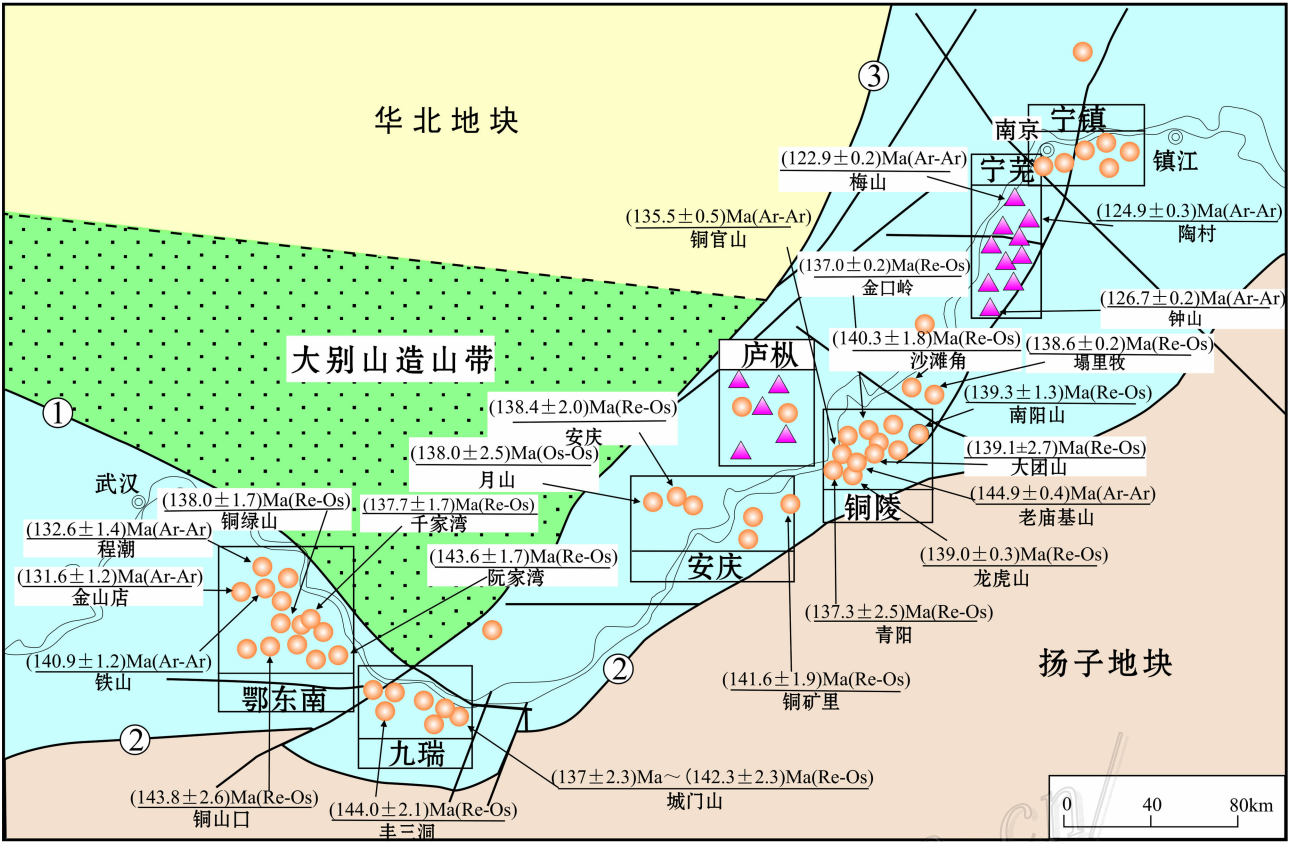


图 1 长江中下游成矿带矿床分布图及其成矿时代
(据 Sun et al. , 2003; Mao et al. , 2006; Xie et al. , 2007; Li et al. , 2008; 谢桂青等, 2008 资料编制而成)
①—襄樊—广济大断裂;②—阳兴—常州大断裂;③—郧庐大断裂

Fig. 1 Distribution of ore deposits in Middle-Lower Yangtze Valley metallogenic belt with precise age data
①—Xiangfan-Guangji fault;②—Yangxing-Changzhou fault;③—Tanlu fault

下二叠统栖霞组下部及上二叠统龙潭组为海陆交互相含煤砂页岩外,其余都为海相灰岩、泥质灰岩和硅质岩等;中三叠统下部马鞍山组主要为泻湖相的含膏盐白云岩、白云质灰岩夹少量灰岩等;上三叠统范家塘组至第三系大通组,均为陆相的砾岩、砂岩、细砂岩和粉砂质页岩(常印佛等,1991;翟裕生等,1992;唐永成等,1998)。

在燕山期,铜陵地区岩浆活动强烈,地表出露的小岩体约有 74 个,多呈中-浅成相的小岩株、岩枝或岩墙产出,出露面积 111 km²。主要为辉石二长闪长岩、石英二长岩和花岗闪长岩等,以铜官山、狮子山、舒家店、新桥头、凤凰山、沙滩角为中心组成几个岩体群。LA-ICP-MS 和 SHRIMP 锆石 U-Pb 定年,表明这些岩体的形成时代为(144.9±2.3)~(137.5±1.1)Ma(王彦斌等,2004a;2004b;2004c;徐夕生等,2004;吴淦国等,2008)。

铜陵矿集区内铜矿床(点)众多,主要集中于四大矿田:铜官山矿田、狮子山矿田、新桥矿田、凤凰山矿田(图 2),在沙滩角岩体周围也有一系列小型矿床。主要矿床类型有矽卡岩型、斑岩型、沿层交代的 Manto 型和热液脉状。按照主要成矿元素,还可以分为铜矿、金矿和铅锌矿。区内多数矿床受 NNE 向与 NE 向、EW 向等构造的复合部位所控制。但单个矿床均分布于 NE 向与其他多组方向构造叠加的复合部位,例如,铜官山矿田受 NNE 向构造与 NE 向褶皱和东西向叠加褶皱、断裂的共同控制;狮子山矿田则位于 NNE 向构造与 NE 向背斜、EW 向叠加褶皱、断裂及南北向挤压构造的复合部位;新桥矿田受 NNE 向构造与 NE 向褶皱、EW 向绕曲构造的共同控制(刘文灿等,1996;藏文拴等,2007)。

铜官山铜矿田地处铜陵—戴家汇 EW 向构造岩浆岩带西端南侧,NE 向与 EW 向构造交汇处,与矿

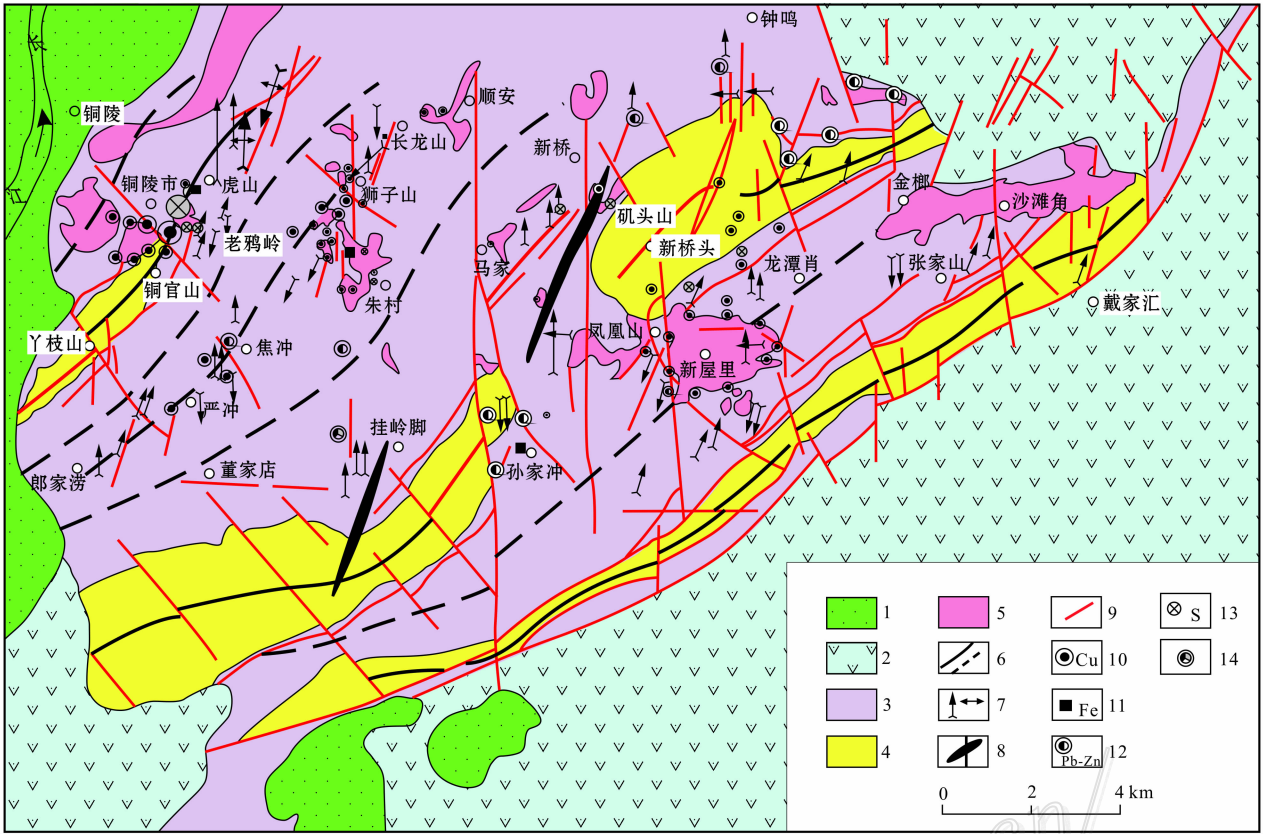


图 2 铜陵矿集区地质和矿产分布略图(据毛景文等,2006b,由吴淦国等执笔)

1—第三系泥岩、砾岩夹玄武岩;2—侏罗系—白垩系凝灰质砂砾岩、英安质火山岩;3—泥盆系—三叠系碳酸盐岩;4—志留纪砂岩、粉砂岩;
5—中生代石英二长闪长岩、花岗闪长岩;6—印支期复式向斜、复式背斜;7—燕山早期中小型褶皱;8—燕山晚期复式褶皱;
9—断裂;10—铜矿;11—铁矿;12—铅锌矿;13—黄铁矿;14—多金属矿

Fig. 2 Geological sketch map showing distribution of ore deposits in the Tongling ore district

1—Tertiary mudstone, conglomerate intercalated with basalt; 2—Jurassic-Cretaceous tuffaceous sandy conglomerate and andesitic volcanic rocks; 3—Devonian-Triassic carbonate rocks; 4—Sillurian sandstone and siltstone; 5—Mesozoic diorite and granodiorite; 6—Indosinian multiple-anticline and multiple-syncline; 7—Early Yanshanian middle-small sized fold; 8—Late Yanshanian multiple-fold; 9—Fault; Mineral deposits: 10—Copper; 11—Iron; 12—Lead-zinc; 13—Pyrite; 14—Polymetals

化关系密切的有铜官山和金口岭 2 个小岩体。矿田内以铜官山铜矿床为代表,8 个矿段(松树山、老庙基山、小铜官山、老山、宝山、白家山、笔山和罗家村矿段)沿铜官山岩体接触带分布,围岩为石炭系—二叠系碳酸盐岩。依据矿体产状、矿化特征、蚀变类型等,矿体分为矽卡岩型矿体、层状矿体及细脉浸染型矿体(袁小明,2002)。

在狮子山矿田内发育众多铜矿床,主要有东狮子山,西狮子山、大团山、老鸦岭、冬瓜山和花树坡铜矿床。矿床主矿体多呈似层状产出。矿体沿接触带自下而上呈阶梯状排列,深部为冬瓜山斑岩型和层控式矽卡岩型矿床(常印佛等,1991),中部为花树坡、大团山层间交代式矽卡岩型矿床,上部为老鸦岭、西狮子山等层间交代式矽卡岩型矿床,浅部有东

狮子山隐爆角砾岩型矿床。在成矿过程中,气液高度聚集,可以见到早期矽卡岩角砾被晚期矽卡岩胶结的现象(图 3a),表明经历了多次高温成矿作用。在冬瓜山斑岩-矽卡岩型铜矿中,于不整合界面处矽卡岩退化蚀变作用强烈,由镁质矽卡岩(主要由石榴子石、透辉石、硅镁石、粒硅镁石、镁橄榄石和金云母组成)退化蚀变形成透闪石集合体或透闪石及少量蛇纹石和绿帘石组合,金属矿物为黄铁矿、磁黄铁矿和黄铜矿,进一步退化蚀变为滑石、蛇纹石、黄铁矿、磁铁矿和黄铜矿组合,并具有经过自组织作用形成的纹层状和曲卷状构造(wrigglite)(图 3b),一种常见的矽卡岩退化蚀变现象(Kwak et al., 1981)。在通常情况下,在这种纹层状和曲卷状退化蚀变型矿石中的不透明矿物是磁铁矿,但是在铜陵地区,成矿

过程中硫逸度异乎寻常地高,因此,更多发育黄铁矿、磁黄铁矿和黄铜矿组合(图3b)。

新桥铜矿田位于舒家店背斜与大成山背斜、盛冲向斜的交汇处。矿体主要赋存在泥盆系五通组石英砂岩、砂页岩及石英岩与石炭系黄龙组和船山组碳酸盐岩不整合界面及与二叠系栖霞组厚层灰岩之间的层间滑脱面中。出露的岩浆岩多为中酸性岩株、岩枝及岩墙,其中规模较大的为矾头岩株和牛山岩株。新桥矿床是由产状和矿化类型不尽相同的矿体及矿石组成,一类是赋存在二叠系栖霞组底部,可能由沉积作用形成的菱铁矿矿体和石炭系黄龙组底部少量的胶黄铁矿和纹层状矿石组成;另一类是与矾头岩体有关的层状、似层状硫化物矿体、矽卡岩型和热液脉型含铜硫化物矿体。似层状、层状硫化物矿体是新桥矿床的主矿体,约占总储量的90%(臧文拴等,2004;2007)。

凤凰山铜矿田内出露的地层主要为下三叠统龙山组灰岩、南陵湖组灰岩以及中三叠统月山组白云质灰岩和白云岩。岩浆岩以白垩纪花岗闪长岩、石英二长闪长斑岩为主,出露有新屋里岩体及一些小型岩脉。新屋里岩体沿北东向复式向斜的核部侵入,呈近等轴状,出露面积约10 km²。围绕岩体分布有凤凰山、江家冲、清水塘、仙人冲、铁山头 and 宝山陶等铜矿床,构成凤凰山矿田。这些矿床都是矽卡岩型,也可见晚阶段的浸染状黄铜矿、石英-黄铁矿脉及多金属硫化物-石英-方解石脉叠加在矽卡岩及其矿体之上(邵拥军等,2003)。

在上述4个矿田及沙角滩矿田,都显示出在岩体接触带为矽卡岩±斑岩型铜矿,向外,存在一系列脉状金银矿(图2)。正如储国正等(2000)指出:在接触带主要为黄铁矿+磁黄铁矿+黄铜矿+辉铋矿的中高温矿物组合,远离接触带发育黄铁矿+自然金+石英的低温矿物组合。在接触带外面的脉状金银矿床有天马山金矿、包村金矿、许桥银矿、白芒山金矿等,最近在铜陵矿集区外围还探明到姚家岭铅锌银矿(蒋其胜等,2008)。

通过对铜陵矿集区典型矿床的辉铋矿 Re-Os、Os-Os 和云母类的⁴⁰Ar-³⁹Ar 系统测年,获得成矿时代为(141.7 ± 2.5)~(136.9 ± 2.2)Ma(图1),其中,Sun 等(2003)对龙虎山闪长岩中的辉铋矿和青阳矽卡岩和石英脉中辉铋矿进行 Os-Os 同位素年龄测定,得到(139.02 ± 0.34) Ma 和(136.4 ± 2.5)~(138.1 ± 2.5) Ma 的数据;毛景文等(2004)和梅燕

雄等(2005)对大团山、南阳山和沙滩角3个矽卡岩型铜矿的 Re-Os 同位素测年,获得(136.9 ± 2.2)~(142.8 ± 1.6) Ma 的年龄数据;蒙义峰等(2004a)测得冬瓜山和金口岭矿床中辉铋矿的 Re-Os 同位素年龄分别为 137.4 Ma 和 136.8~137.4 Ma;蒙义峰(2004a)和曾普生等(2004)获得铜官山、老庙基山和小铜官山矿区的 Ar-Ar 年龄分别为(144.9 ± 0.4) Ma,(150.25 ± 3.00) Ma 和(137.68 ± 2.75) Ma。这些数据与区内花岗质岩体的成岩时代相吻合。在矽卡岩阶段成矿温度和盐度都比较高,脉状矿体的成矿温度和盐度属于中高温和中低盐度(唐永成等,1998;Pan et al., 1999;肖新建等,2002;徐兆文等,2005)。硫、氢氧和铅同位素比较一致地反映出,无论是矽卡岩型还是层状矿体以及有关的脉状矿体,其成矿流体与高钾钙碱性花岗质岩浆密切相关,早阶段的成矿流体主要来自岩浆,晚阶段的流体来自岩浆流体与大气降水的混合(唐永成等,1998;Pan et al., 1999;陈邦国等,2002;黄顺生等,2003)。铜同位素研究表明,冬瓜山层状铜矿体中的铜来自岩浆,而非海底喷流沉积的产物(黄顺生等,2003)。

3 成矿作用与矿床模型

铜陵矿集区是长江中下游成矿带在 140 Ma 左右时限成矿的代表性地区,以 Cu-Mo-Au-S 矿化组合为特点,有关的岩浆岩是高钾钙碱性花岗岩或具有埃达克岩石性质的花岗闪长岩等(张旗等,2001),明显来自于深源,为壳幔同熔的产物(徐克勤等,1982)。其成岩成矿环境可能是古太平洋板块或 Izanagi 板块向欧亚大陆俯冲过程中,由于俯冲板片撕裂,导致软流圈沿裂开处上涌,以至于发生壳幔相互作用,因而,从西向东出现 5 个(鄂东南、九瑞、安庆-贵池、铜陵和宁镇)花岗岩集中区和与之有关的铜多金属矿化区。

来自深源的 I 型(或同熔型)花岗岩可能由俯冲板片重熔而成,因而富含铜和铁等元素。在含矿岩浆上侵到浅部定位的过程中,如果围岩是泥盆系五通组和志留系碎屑岩和泥质岩石时,由于含矿气液较难逸散,在岩体隆起部位发育斑岩型矿床。大多数岩体侵位于二叠纪和三叠纪碳酸盐岩中,因此钙质矽卡岩矿化最为普遍;当石炭纪黄龙组白云岩为围岩时,形成镁质矽卡岩。作为长江中下游成矿带的一个组成部分,铜陵地区位于大别-苏鲁造山带

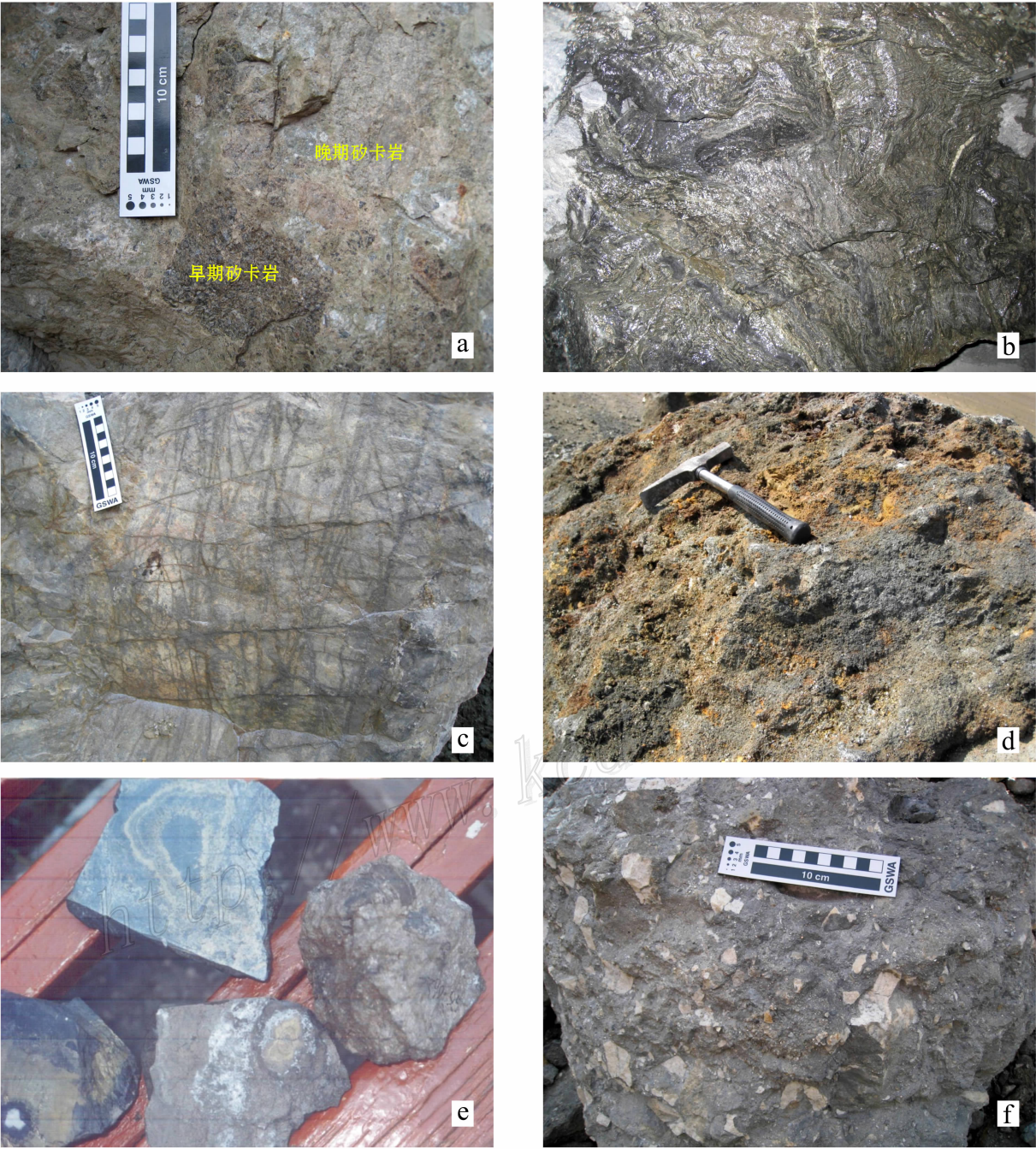


图 3 冬瓜山-新桥矿床中地质现象照片及俄罗斯乌拉尔地区志留纪喷流口照片

a. 早期砂卡岩被晚期砂卡岩胶结,形成两次砂卡岩; b. 由透闪石集合体或透闪石及少量蛇纹石和绿帘石,金属矿物为黄铁矿、磁黄铁矿和黄铜矿组合自组织形成曲卷状构造(wrigglite),一种常见的砂卡岩退化蚀变现象; c. 矿体下盘下泥盆统五通组砂岩中细脉和细网脉硫化物脉,这些脉旁侧没有明显蚀变,与海底喷流矿床下部补给带大面积硅化和角砾岩截然不同; d. 沿不整合界面矿体遭受风化而形成铁帽; e. 乌拉尔志留纪块状硫化物矿体中发现的古喷流口,横截面呈环带构造,核心是重晶石、闪锌矿或黄铁矿-黄铜矿,向外是其他硫化物; f. 在矿体内部还见有大量角砾,主要来自上盘围岩中泥盆统黄龙组白云岩,这些角砾没有明显蚀变,由微细粒黄铁矿集合体胶结

Fig. 3 Photos showing geological phenomena of the Dongguashan-Xinqiao deposits in the Tongling ore district and photo showing Silurian chimney discovered in Urals, Russia

的南缘,在晚三叠世造山过程中及造山后伸展期间沿地层间发生错位或错动,尤其是不整合面之间广泛出现构造滑脱。因此,当白垩纪岩浆侵位时大量成矿流体迅速涌入这些空间,并交代原岩形成了像新桥和冬瓜山这样大规模的层状矿体;同时,流体沿地层错动层位广泛交代,形成层状矽卡岩型矿体或层控矽卡岩型矿体(常印佛等,1983)。由于层控矽卡岩型矿体出现在石炭纪、二叠纪和三叠纪碳酸盐岩层内,翟裕生等(1992)称之为多层楼成矿。成矿不仅发育于矽卡岩阶段,而且更加广泛出现在退化蚀变阶段,常见铜多金属与阳起石-透闪石、绿泥石和绿帘石(由钙质矽卡岩蚀变而成)或透闪石-镁绿泥石-滑石-蛇纹石(由镁质矽卡岩蚀变而成)共生。

值得指出的是,对于这些层状矿体的成因有不同的认识,例如,认为由海底喷流沉积形成(即 SEDEX 型矿床)(徐克勤等,1978;顾连兴等,1986;李红阳等,2004;曾普胜等,2005)。这一认识虽然比较有利于解释层状矿体之形成,但主矿体位于不整合界面,使人们很难理解在陆表或极浅海环境中为何能够出现海底喷流成矿系统。研究表明,若没有足够的静水压力,从海底喷气口喷出的气体将直接逸散,无法形成矿产。在 2002 年,德国一艘科考船开展海底调查时,发现在菲律宾有一条断裂从深海沟延伸至白岛,沿该断裂在深海沟正在喷流成矿,到白岛可见地表热泉,在热泉下部的浅表位置正在形成浅成低温热液矿床。到目前为止,在全球已经发现正在活动和已经死亡的海底喷流成矿系统达 350 多处(Scott, 2008),绝大多数位于海沟、深海槽和洋中脊,距海平面 1 500~3 500 m,例如,冲绳海槽,东太平洋中脊北纬 21°和巴布亚新几内亚的 Manus 盆地;地中海的意大利伊特鲁利亚海东南部的 Palinuro、Marsilli 和 Panarea 几个热液活动区位于浅水区,水深 400~700 m。后者中的矿化类似于深海以火山岩为容岩的块状硫化物矿床与浅表的岩浆-浅成低温热液贵金属矿床之间的过渡性矿床(Gemmell et al., 2008)。此外,还必须指出的是,正确识别古代同生成矿的典型标志是合理建立矿床模型的基础。在新桥矿区主矿体是巨厚层的 S-Au-Cu 矿体,其下伏围岩上泥盆统五通组砂岩中有细脉和细网脉状硫化物脉(图 3c),这些脉旁侧没有明显蚀变,与海底喷流矿床下部补给带大面积硅化和角砾岩化以及远补给带的绿泥石化截然不同。在新桥矿体内部沿不整合界面附近广泛出现遭受风化的矿石,形似铁帽(图 3d),部分学者疑为海底热液喷流口,但是这种

现象与乌拉尔志留纪块状硫化物矿体中发现的古喷流口(图 3e)完全不同,后者的外形为一簇柱子集合体,类似岩溶洞内的石笋,横截面呈环带构造,核心是重晶石、闪锌矿或黄铁矿-黄铜矿,向外是其他硫化物。在新桥矿区矿体内部还见有大量角砾(图 3f),角砾主要为碳酸盐岩,可能来自上部围岩中石炭统黄组白云岩,它们没有明显蚀变。将这一特点与微细粒黄铁矿集合体放在一起思考,不能不考虑到这很可能是成矿气流迅速进入一个大空间,立即减压沉淀成矿所致,以至于气流与崩塌的角砾来不及发生水岩反应就快速凝固。这些显然是后生成矿的基本特征。

至于不整合界面之间广泛发育的黄铁矿层及菱铁矿层,可能属于正常沉积形成(常印佛等,1991;藏文拴等,2007),但由于广泛遭受燕山期岩浆流体的强烈改造作用而难于识别。就现有测试资料来看,这些矿层中的硫、氢氧和铅同位素组分曾经过均一化过程(Pan et al., 1999),主要表现为岩浆热液的产物,但是 Zhou 等(2007)进一步深入研究指出,这是由于后生的岩浆热液与同生沉积矿石发生了同位素交换作用的结果。

综上所述,在长江中下游地区,尽管在泥盆系五通组与石炭系之间出现同生沉积的黄铁矿层及菱铁矿层,但广泛发育的铜多金属矿床形成于早白垩世,与高钾钙碱性花岗质岩石有密切的成因联系,属于比较典型的斑岩-矽卡岩型成矿系统。由于大量碳酸盐岩发育,矽卡岩型矿床比斑岩型矿床更加发育,而且具有通常可见的矿化分带特征,即斑岩型矿床出现在岩体隆起部位,而接触带为矽卡岩型矿床,向外有矽卡岩-热液型金矿和铅锌矿。长江中下游地区在三叠纪曾作为大别-苏鲁造山带的前陆盆地,在后碰撞期间出现了大量滑覆构造和扩容空间,它们在不整合界面尤其发育。因此,在成矿过程中不仅形成了像新桥那样的厚大矿体,而且位于不整合界面附近的矽卡岩往往退化蚀变成为具有典型层纹状和曲卷状构造的退化蚀变岩和矿石,甚至沿一些层位交代形成了层控矽卡岩型或 Manto 型矿体。以上述特点为基础,建立了一个矿集区尺度的矿床模型,示于图 4。

4 矿床模型

以铜陵矿集区内主要矿床的特点为基础建立的矿床模型,可以用于在类似的地质环境中开展找矿评价工作。在应用过程中应考虑以下因素:

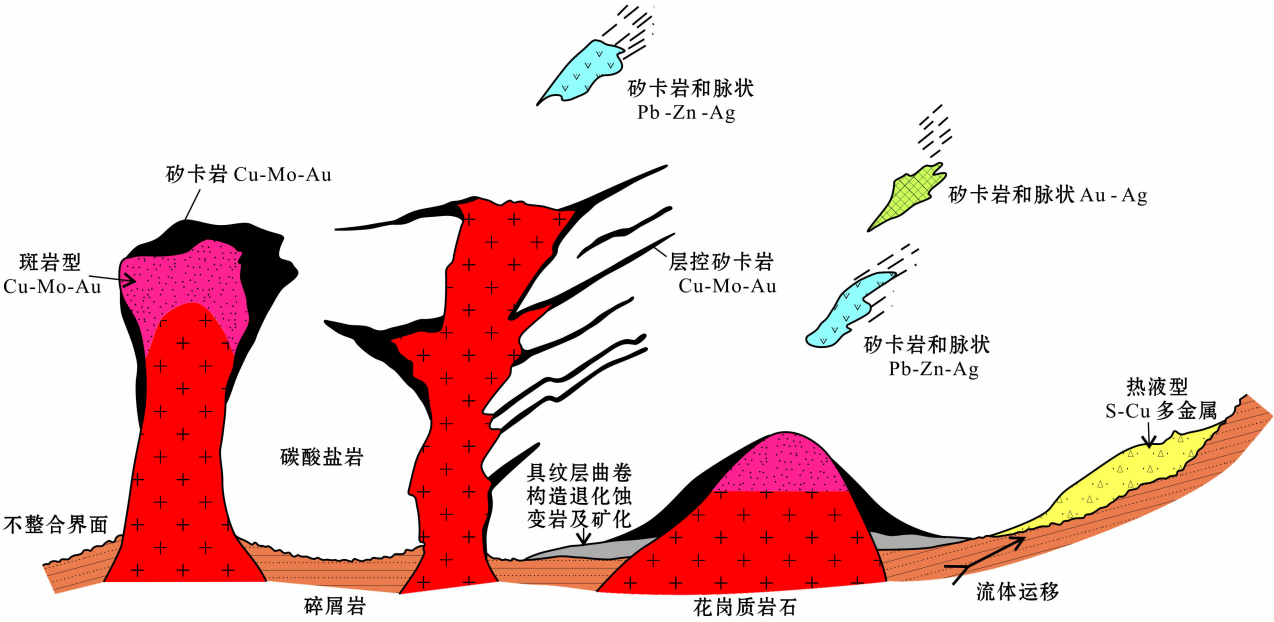


图 4 铜陵矿集区矿床模型示意图 (说明见正文)

Fig. 4 Mineral deposit model of polymetallic copper deposits in the Tongling ore district

(1) 铜多金属矿集区出现于壳幔强烈作用地带,可能为俯冲板块撕裂带(在原来三叠纪造山带前陆盆地基础上发育而成)与 NE 向断裂的交汇部位,与高钾钙碱性花岗岩有密切的关系,成岩成矿时代为 144~136 Ma,岩浆岩集中区就是找矿的中心部位。

(2) 矿化集中出现在岩体的内外接触带,矿体形态受控于接触构造、成矿前的滑脱构造(包括层间破碎带),石炭系与泥盆系之间的不整合界面及层间构造应力薄弱带,尤其是具有滑脱性质的扩容构造。

(3) 矿化类型与围岩关系密切,以碎屑岩为围岩,形成斑岩型矿床;以灰岩为围岩,形成钙质矽卡岩或斑岩-矽卡岩型矿床;以白云岩为围岩,形成镁质矽卡岩型矿床或斑岩-矽卡岩型矿床。

(4) 以含矿岩体为核心,具有 Cu-Mo, Au 或 Cu-Mo, Pb-Zn, Au 的分带现象,各类矿床互为找矿标志。

(5) 高重力、高磁、高激电是寻找该类型矿床的有效方法。

后 记 该论文是笔者对长江中下游成矿带进行考察后,以地质现象最丰富的铜陵矿集区为例,提出的一个矿床模型,也是笔者对该区成矿过程的一种理解和对找矿评价的建议。笔者深知目前对于铜

陵矿集区内一些地质现象存在不同的认识和看法,这是科学研究和探索的必然过程。欢迎对本文提出讨论和质疑,不同的科学认识并不妨碍科学家之间交朋友。

References

Chang Y F and Liu X G. 1983. On strata-bound skarn deposits[J]. Mineral Deposits, 2 (1): 11-20 (in Chinese with English abstract).

Chang Y F, Liu X P and Wu C Y. 1991. The copper-iron belt of the Lower and Middle Reaches of the Changjiang River [M]. Beijing: Geol. Pub. House. 1-379 (in Chinese with English abstract).

Chen B G, Jiang Z P, Zhang W P, Xu Z W, Lu X X, Lu J J, Liu S M and Huang S S. 2002. Study on altered fluids of diagenetic stratified copper hydrothermal solution in Dongguashan, Anhui Province[J]. Jiangsu Geology, 26: 62-69 (in Chinese with English abstract).

Chu G Z, Wan G C, Zhou Y C, Xie C G, Guo X G and Shi D F. 2000. Study on relation of copper and gold mineralization and its genesis in Tongling area, Anhui [J]. Journal of Precious Metallic Geology, 9 (2): 73-77 (in Chinese with English abstract).

Fan Y, Zhou T F, Yuan F, Qian C C, Lu S M and David Cooke. 2008. LA-ICP MS zircon U-Pb ages of the A-type granites in the Lu-Zong (Lujiang-Zongyang) area and their geological significances[J]. Acta Petrologica Sinica, 24(8): 1715-1724(in

- Chinese with English abstract).
- Gemmell J B, Petersen S, Monecke T, Hannington M D, Lackschewitz K, Augustin N, Gibson H, Sharpe R and Simpson K. 2008. Drilling of shallow marine sulfide-sulfate mineralization in the South-Eastern Tyrrhenian Sea, Italy[A]. In: The Pacific rim: Mineral endowment, discovery & exploration frontiers[C]. The Australasian Institute of Mining and Metallurgy. 85-90.
- Gu L X and Xu K Q. 1986. On the carboniferous submarine massive sulphide deposits in the Lower Reaches of the Changjiang (Yangzi) River[J]. *Acta Geologica Sinica*, 60(2):176-187 (in Chinese with English abstract).
- Huang S S, Xu Z W and Ni P. 2003. Inclusion geochemistry of Dongguashan hydrothermal superimposition copper deposit in the Tongling area, Anhui[J]. *Contributions to Geology and Mineral Resources Research*, 18: 34-38 (in Chinese with English abstract).
- Jiang Q S, Zhao Z H and Huang J M. 2008. Discovery of the Yaojialing copper-lead-zinc deposit in Nanlin, Anhui, and its significance. Discovery of the Yaojialing copper-lead-zinc deposit in Nanlin, Anhui, and its significance[J]. *Geology in China*, 35: 314-321 (in Chinese with English abstract).
- Kwak T A P and Askins P W. 1981. Geology and genesis of the F-Sn-W-(Be-Zn) skarn (wrigglite) at Moina, Tasmania. *Econ. Geol.*, 76: 439-467.
- Li H Y, Yang Y H, Meng Y F, Zeng P S and Xu W Y. 2004. Geological characteristics of massive sulfide deposit in Tongling ore concentration area, Anhui Province [J]. *Mineral Deposits*, 23: 327-333 (in Chinese with English abstract).
- Li J W, Zhao X F, Zhou M F, Vasconcelos P, Ma C Q, Deng X D., Sergio de Souza Z, Zhao Y X and Wu G. 2008. Origin of the Tongshankou porphyry-skarn Cu-Mo deposit, eastern Yangtze craton, Eastern China: Geochronological, geochemical and Sr-Nd-Hf isotopic constraints[J]. *Mineralium Deposita*, 43: 315-336.
- Liu W C, Gao D Z and Chu G Z. 1996. The analysis of structure deformation and the metallogenic prediction in the Middle and Lower Yangzi Reaches[M]. Beijing: Geol. Pub. House. 1-96 (in Chinese).
- Lü Q T, Hou Z Q, Shi D N, Zhao J H, Xu M C and Chai M T. 2004. Tentative seismic reflection study of Shizishan orefield in Tongling and its significance in regional exploration [J]. *Mineral Deposits*, 23: 390-398 (in Chinese with English abstract).
- Mao J W, Stein H, Du A D, Zhou T F, Mei Y X, Li Y F, Zhang W S and Li J W. 2004. Molybdenite Re-Os precise dating for molybdenite from Cu-Au-Mo deposits in the Middle-Lower Reaches of Yangtze River belt and its implications for mineralization [J]. *Acta Geologica Sinica*, 78: 121-131 (in Chinese with English abstract).
- Mao J W, Wang Y T, Lehmann B, Yu J J, Du A D, Mei Y X, Li Y F, Zhang W S, Stein H J and Zhou T F. 2006a. Molybdenite Re-Os and albite ^{40}Ar - ^{39}Ar dating of Cu Au Mo and magnetite porphyry systems in the Yangtze River valley and metallogenic implications[J]. *Ore Geology Reviews*, 29: 307-324.
- Mao J W, Hu R Z., Chen Y C and Wang Y T. 2006b. Large-scale ore-forming events and large ore dense areas [M]. Beijing: Geol. Pub. House. 1030p (in Chinese).
- Mei Y X, Mao J W, Li J W and Du A D. 2005. Re-Os dating of molybdenite from stratiform skarn orebodies in the Datuanshan copper deposit, Tongling, Anhui Province, and its geological significance [J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 26: 327-331 (in Chinese with English abstract).
- Meng Y F, Yang Z S, Zeng P S, Xu W Y and Wang X C. 2004a. Tentative temporal constraints of ore-forming fluid systems in Tongling metallogenic province[J]. *Mineral Deposits*, 23: 271-280 (in Chinese with English abstract).
- Meng Y F, Hou Z Q, Yang Z S, Zeng P S, Xu W Y, Tian S H, Li H Y, Wang X C, Jiang Z P and Yao X D. 2004b. Alteration-fluid mapping and metallogenic fluid system of Tongling ore concentration area[J]. *Mineral Deposits*, 23:261-270 (in Chinese with English abstract).
- Ningwu Research Group. 1978. The Ningwu porphyry iron deposits [M]. Beijing: Geol. Pub. House. 1-196 (in Chinese).
- Pan Y and Dong P. 1999. The Lower Changjiang (Yangzi/Yangtze River) metallogenic belt, East China: Intrusion and wall rock hosted Cu Fe Au, Mo, Zn, Pb, Ag deposits[J]. *Ore Geology Reviews*, 15: 177-242.
- Pei R F and Hong D W. 1995. The granites of South China and their metallogeny[J]. *Episodes*, 18: 77-86.
- Scott S D. 2008. Massive sulfide deposits on the deep ocean floor-The dawning of a new mining history[A]. In: The Pacific rim: Mineral endowment, discovery & exploration frontiers[C]. The Australasian Institute of Mining and Metallurgy, 19-22.
- Shao Y J, Peng S L, Liu L M and Wu G G. 2003. Analysis of the geological conditions of mineralization and the ore control factors in Fenghuangshan field [J]. *Journal of Central South University of Technology*, 34: 562-566 (in Chinese with English abstract).
- Sun W, Xie Z, Chen J, Zhang X, Chai Z, Du A, Zhao J, Zhang C and Zhou T. 2003. Os-Os dating of copper and molybdenum deposits along the Middle and Lower reaches of the Yangtze river, China[J]. *Econ. Geol.*, 98: 175-180.
- Tang Y C, Wu C Y, Chu G Z, Yin F M, Wang Y M, Cao F Y, Chang Y F. 1998. Geology of copper-gold polymetallic deposits in the along Changjiang Area of Anhui Province[M]. Beijing: Geol. Pub. House. 1-243 (in Chinese with English abstract).
- Wang Y B, Liu D Y, Zeng P S, Yang Z S, Meng Y F and Tian S H. 2004a. SHRIMP U-Pb geochronology of Xiaotonggunashan quartz-dioritic intrusions in Tongling district and its petrogenetic implication[J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 23: 298-304 (in Chinese with English abstract).

- Wang Y B, Liu D Y, Zheng P S, Yang Z S, Meny Y F and Tian S H. 2004b. SHRIMP U-Pb geochronology of the Xinqiao Cu-S-Fe-Au deposit in the Tongling ore district, Anhui[J]. *Geology in China*, 31:169-173 (in Chinese with English abstract).
- Wang Y B, Liu D Y, Zheng P S, Yang Z S, Meng Y F and Tian S H. 2004c. SHRIMP U-Pb geochronology of pyroxene diorite in the Chaoshan gold deposit and its geological significance[J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 31: 169-173 (in Chinese with English abstract).
- Wu G G, Zhang D, Di Y J, Zang W S, Zhang X X, Song B and Zhang Z Y. 2008. SHRIMP zircon U-Pb dating of the intrusives in the Tongling metallogenic cluster and its dynamic setting[J]. *Science in China (Series D)*, 51(7): 911-928 (in Chinese).
- Xiao X J, Gu L X and Ni P. 2002. Multi-episode fluid boiling in the Shizishan copper-gold deposit at Tongling, Anhui Province: Its bearing on ore formation[J]. *Science in China (Series D)*, 32: 199-206 (in Chinese).
- Xie G Q, Mao J W, Li R L, Qu W J, Pirajno F and Du A D. 2007. Re Os molybdenite and Ar-Ar phlogopite dating of Cu Fe Au Mo (W) deposits in southeastern Hubei China[J]. *Mineralogy and Petrology*, 90: 249-270.
- Xie G Q, Mao J W, Li R L, Jiang G H, Zhao C S, Hou K J and Pan H J. 2008. ^{40}Ar - ^{39}Ar phlogopite dating of large skarn Fe deposits and tectonic framework in southeastern Hubei Province, Middle-Lower Reaches of the Yangtze River, Eastern China[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 24: 1917-1927 (in Chinese with English abstract).
- Xie G Q, Mao J W, Li R L and Bierlein F P. 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[J]. *Lithos*, 104: 216-230.
- Xu K Q, Hu S X, Sun M Z and Ye J. 1982. On the two genetic series of granites in south eastern China and their metallogenetic characteristics [J]. *Mineral Deposits*, 1 (2): 327-333 (in Chinese with English abstract).
- Xu X S, Fan Q C, O'Reilly S Y, Jiang S Y, Griffin W L, Wang R C and Qiu J S. 2004. U-Pb dating of zircons from quartz diorite and its enclaves at Tongguanshan in Anhui and its petrogenetic implication[J]. *Chinese Science Bulletin*, 49: 2073-2082 (in Chinese).
- Xu Z W, Huang S S, Ni P, Lu X C, Lu J J, Fang C Q, Hua M and Jiang S Y. 2005. Characteristics and evolution of ore fluids in Dongguashan copper deposit, Anhui Province, China [J]. *Geological Review*, 51:3641 (in Chinese with English abstract).
- Yuan X M. 2002. A tentative discussion on the copper and gold metallogenic model of the Tongguanshan orefield [J]. *Acta Geosciencia Sinica*, 23: 541-546 (in Chinese with English abstract).
- Zang W S, Wu G G and Zhang D, Liu A H. 2004. Xinqiao iron-deposit field in Tongling, Anhui-geologic and geochemical characteristics and genesis[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 28:187-193 (in Chinese with English abstract).
- Zang W S, Wu G G, Zhang D, Zang X X, Li J W, Liu A H and Zhang Z Y. 2007. A preliminary discussion on genesis of Xinqiao S-Fe orefield[J]. *Mineral Deposits*, 26: 464-474 (in Chinese with English abstract).
- Zeng P S, Yang Z S, Meng Y F, Pei R F, Wang Y B, Wang X C, Xu W Y, Tian S H and Yao X D. 2004. Temporal-spatial configuration and mineralization of Yanshanian magmatic fluid systems in Tongling ore concentration area, Anhui Province [J]. *Mineral Deposits*, 23: 298-319 (in Chinese with English abstract).
- Zeng P S, Pei R F, Hou Z Q, Meng Y F, Yang Z S, Tian S H, Xu W Y and Wang X C. 2005. The Dongguashan deposit in the Tongling mineralization cluster Area, Anhui: A large-sized superimposition-type copper deposit [J]. *Acta Geologica Sinica*, 79: 106-131 (in Chinese with English abstract).
- Zhai Y S, Yao S Z, Lin X D, Zhou X N, Wan T F, Jin F Q and Zhou Z G. 1992. Fe-Cu (Au) metallogeny of the Middle-Lower Changjiang Region[M]. Beijing: Geol. Pub. House. 12-35 (in Chinese).
- Zhang Q, Wang Y, Qian Q, Yang J H, Wang Y L, Zhao T P and Guo G J. 2001. The characteristics and tectonic-metallogenic significances of the adakites in Yanshan period from eastern China[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 17: 236-244 (in Chinese with English abstract).
- Zhou T F, Yuan F, Yue S C, Liu X D, Zhang X and Fan Y. 2007. Geochemistry and evolution of ore-forming fluids of the Yueshan Cu-Au skarn and vein-type deposits, Anhui Province, South China[J]. *Ore Geology Reviews*, 31: 279-303.
- Zhou T F, 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[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 24(8): 1665-1678 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 常印佛, 刘学圭. 1983. 关于层控式矽卡岩型矿床——以安徽省内下扬子拗陷中一些矿床为例[J]. *矿床地质*, 2(1): 11-20.
- 常印佛, 刘湘培, 吴昌言. 1999. 长江中下游地区铜铁成矿带[M]. 北京: 地质出版社. 1-379.
- 陈邦国, 姜章平, 卫平, 徐兆文, 陆现彩, 陆建军, 刘苏明, 黄顺生. 2002. 安徽冬瓜山叠生式层状铜矿热液改造型流体研究[J]. *江苏地质*, 26: 62-69.
- 储国正, 王训诚, 周育才, 谢超国, 郭祥焱, 史东方. 2000. 安徽铜陵地区铜金矿化关系及其成因初探[J]. *贵金属地质*, 9: 73-77.
- 范裕, 周涛发, 袁峰, 钱存超, 陆三明, David Cooke. 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[J]. *岩石学报*, 24(8): 1715-1724.
- 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[J]. *地质学报*, 60 (2): 176-187

- 黄顺生, 徐兆文, 倪 培. 2003. 安徽铜陵冬瓜山热液叠加改造型铜矿床流体包裹体地球化学特征[J]. 地质找矿论丛, 18: 34-38.
- 蒋其胜, 赵自宏, 黄建满. 2008. 安徽南陵姚家岭铜铅锌矿床的发现及其意义[J]. 中国地质, 35(2): 314-321.
- 李红阳, 杨竹森, 蒙义峰, 曾普胜, 徐文艺. 2004. 铜陵矿集区块状硫化物矿床地质特征[J]. 矿床地质, 23: 327-333.
- 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[M]. 北京: 地质出版社. 1-96.
- 吕庆田, 侯增谦, 史大年, 赵金花, 徐明才, 柴铭涛. 2004. 铜陵狮子山金属矿地震反射结果及对区域找矿的意义[J]. 矿床地质, 23: 390-398.
- 毛景文, Stein H., 杜安道, 周涛发, 梅燕熊, 李永峰, 藏文拴, 李进文. 2004. 长江中下游地区铜金矿 Re-Os 年龄精测及其对成矿作用的指示[J]. 地质学报, 78: 121-131.
- 毛景文, 胡瑞忠, 陈毓川, 王义天. 2006b. 大规模成矿作用与大型矿集区[M]. 北京: 地质出版社. 278-391.
- 梅燕熊, 毛景文, 李进文, 杜安道. 2005. 安徽铜陵大团山铜矿床层状矽卡岩矿体中辉钨矿 Re-Os 年龄测定及其地质意义[J]. 地球学报, 26: 327-331.
- 蒙义峰, 杨竹森, 曾普胜, 徐文艺, 王训成. 2004a. 铜陵矿集区成矿流体系统时限的初步厘定[J]. 矿床地质, 23: 271-280.
- 蒙义峰, 侯增谦, 杨竹森, 曾普胜, 徐文艺, 田世洪, 李红阳, 王训成, 姜章平, 姚孝德. 2004b. 铜陵矿集区蚀变-流体填图与成矿流体系统[J]. 矿床地质, 23: 261-270.
- 宁芜研究项目编写小组. 1978. 宁芜玢岩铁矿[M]. 北京: 地质出版社. 1-196.
- 邵拥军, 彭省临, 刘亮明, 吴淦国. 2003. 凤凰山矿田成矿地质条件和控矿因素分析[J]. 中南工业大学学报(自然科学版), 34: 562-566.
- 唐永成, 吴言昌, 储国正, 邢凤鸣, 王永敏, 曹奋扬, 常印佛. 1998. 安徽沿江地区铜多金属矿床地质[M]. 北京: 地质出版社. 1-351.
- 王彦斌, 刘敦一, 曾普胜, 杨竹森, 蒙义峰, 田世洪. 2004a. 铜陵地区小铜官山石英闪长岩锆石 SHRIMP 的 U-Pb 年龄及其成因指示[J]. 岩石矿物学杂志, 23: 289-304.
- 王彦斌, 刘敦一, 曾普胜, 杨竹森, 蒙义峰, 田世洪. 2004b. 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[J]. 中国地质, 31: 169-173.
- 王彦斌, 刘敦一, 曾普胜, 杨竹森, 田世洪. 2004c. 安徽铜陵地区幔源岩浆底侵作用的时期—朝山辉石闪长岩锆石 SHRIMP 定年[J]. 地球学报, 25: 423-427.
- 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[J]. 中国科学(D辑), 38: 630-645.
- 余金杰, 毛景文. 2002. 宇芜玢岩铁矿钠长石 ^{40}Ar - ^{39}Ar 定年及意义[J]. 自然科学进展, 12: 1059-1063.
- 肖新建, 顾连兴, 倪 培. 2002. 安徽铜陵狮子山铜-金矿床流体多次沸腾及其与成矿的关系[J]. 中国科学(D辑), 32: 199-206.
- 谢桂青, 毛景文, 李瑞玲, 蒋国豪, 赵财胜, 赵海杰, 侯可军, 潘怀军. 2008. 鄂东南地区大型矽卡岩型铁矿床金云母 ^{40}Ar - ^{39}Ar 同位素年龄及其构造背景初探[J]. 岩石学报, 24: 1917-1927.
- 徐克勤, 朱金初. 1978. 中国东南部几个断裂拗陷带中沉积(或火山沉积)-热液叠加类铁铜矿床的探讨[J]. 福建地质, (4): 1-68.
- 徐克勤, 胡受奚, 孙明志, 叶 俊. 1982. 华南两个成因系列花岗岩及其成矿特征[J]. 矿床地质, 1(2): 1-14.
- 徐夕生, 范钦成, O'Reilly S Y, 蒋少涌, Griffin W L, 王汝成, 邱检生. 2004. 安徽铜官山石英闪长岩及其包体锆石 U-Pb 定年与成因探讨[J]. 科学通报, 49: 1883-1891.
- 徐兆文, 黄顺生, 倪 培, 陆现彩, 陆建军, 方长泉, 华 明, 蒋少涌. 2005. 铜陵冬瓜山铜矿成矿流体特征和演化[J]. 地质论评, 51: 36-41.
- 袁小明. 2002. 铜官山矿田铜金成矿模式探讨[J]. 地球学报, 23: 541-546.
- 臧文拴, 吴淦国, 张 达, 刘爱华. 2004. 铜陵新桥铁矿田地质地球化学特征及成因浅析[J]. 大地构造与成矿学, 28: 187-193.
- 臧文拴, 吴淦国, 张 达, 张祥信, 李进文, 刘爱华, 张忠义. 2007. 浅析安徽省新桥 S-Fe 矿田的成因[J]. 矿床地质, 26: 464-474.
- 曾普胜, 杨竹森, 蒙义峰, 裴荣富, 王彦斌, 王训成, 徐文艺, 田世洪, 姚孝德. 2004. 安徽铜陵矿集区燕山期岩浆流体系统时空结构与成矿[J]. 矿床地质, 23: 298-319.
- 曾普胜, 裴荣富, 侯增谦, 蒙义峰, 杨竹森, 田世洪, 徐文艺, 王训成. 2005. 安徽铜陵矿集区冬瓜山矿床: 一个叠加改造型铜矿[J]. 地质学报, 79 (1): 106-113.
- 翟裕生, 林新多, 姚书振. 1992. 长江中下游地区铁铜(金)成矿规律[M]. 北京: 地质出版社. 1-235.
- 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[J]. 岩石学报, 17: 236-244.
- 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[J]. 岩石学报, 24(8): 1665-1678.