

文章编号:0258-7106(2004)03-0298-12

安徽铜陵矿集区燕山期岩浆流体系统 时空结构及成矿*

曾普胜¹ 杨竹森¹ 蒙义峰¹ 裴荣富¹ 王彦斌²王训诚³ 徐文艺¹ 田世洪¹ 姚孝德³

(1 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037; 2 中国地质科学院地质研究所, 北京 100037;

3 安徽省地勘局 321 地质队, 安徽 铜陵 244033)

摘 要 通过野外地质调查和同位素年代学研究,结合前人资料,建立起铜陵地区燕山期岩浆流体系统的时空格架及岩浆活动与矿产的关系。将铜陵地区的岩浆流体系统分为两类 4 个子系统。一类是与燕山期(150~133 Ma)侵入岩有关的铜陵侵入岩岩浆流体系统,受近东西向铜陵-南陵基底断裂控制,依据其活动时间先后和流体活动特征,可进一步划分为早、晚 2 个流体子系统;另一类是与燕山晚期(122~110 Ma)繁昌盆地火山岩有关的火山岩流体系统,受北东侧凹陷盆地控制,与“宁芜式”玢岩铁矿和金矿关系密切,包括 2 个子系统。各子系统又包括不同的流体单元,流体单元是填图的基本单位。岩浆岩自身可形成独立矿床,同时,对海西期同生沉积矿床或矿胚层叠加改造,增补铜、金等成矿物质,使层状矿体变富,规模变大,在铜陵地区形成全球特有的大型-超大型矽卡岩型铜矿床。

关键词 地质学 燕山期 岩浆流体系统 时空结构 岩浆成因 铜陵

中图分类号: P612

文献标识码: A

安徽省铜陵地区的岩浆岩与成矿的关系一直受到中外地质学家们的重视(谢家荣,1936;郭宗山,1957;郭文魁,1957;常印佛等,1965;1983;翟裕生等,1980;1992;Zhai et al.,1996;毛健仁等,1990;邓晋福等,1992;吴言昌等,1992;唐永成等,1998)。因此,该区成为中国研究程度最高的金属矿产地之一,是中国矽卡岩成矿理论研究的发祥地,也是世界上形成大型矽卡岩型铜矿床的特殊地区之一。尽管如此,一些与成矿作用关系密切的问题,例如,岩浆活动对早期的“矿源层”是否进行了叠加改造,与繁昌盆地火山岩同期的岩浆流体对铜陵地区成矿的影响及成矿专属性如何等问题仍然需要回答。根据笔者对铜陵地区的蚀变-流体填图过程中所获得的一些数据和认识,本文对该区燕山期岩浆流体系统的时空结构进行了探讨。

1 地质背景

铜陵地区位于中国东部大别-苏鲁造山带南侧,属于大别造山带与扬子地块作用形成的对冲带(唐永成等,1998)。侵入岩体 70 多个,大多数岩体分布于东西向展布的铜陵-南陵

深断裂控制的岩浆成矿带之上(常印佛等,1991;吴才来等,2003),控制着铜陵地块内的铜官山矿田、狮子山矿田、新桥矿田、凤凰山矿田、沙滩脚矿田等主要铜(铁)矿产的分布(图 1),少数分布于铜陵地块南侧的贵桥、丁桥一带。岩浆岩类型主要包括:①辉石二长闪长岩,分布于白芒山(朝山)、焦冲、舒家店等地,出露面积较小;②石英二长闪长岩,沿铜陵-南陵断裂广泛分布,是铜陵地区最主要的岩浆岩;③花岗闪长岩,分布于瑶山、凤凰山等地。另有少量石英闪长岩、花岗岩脉、辉绿岩脉、煌斑岩脉等零星分布。岩浆活动与本区铜金矿床的形成有着密切的关系,有相当一部分矿体产于侵入体与晚古生代、中生代的碳酸盐岩接触带上(如铜官山、凤凰山等地),使本区成为中国最重要的矽卡岩型铜金成矿带之一。有些岩体成为斑岩型铜金矿的直接容矿围岩(如沙滩脚、冬瓜山深部、舒家店等)。同时,岩浆活动叠加于早期(石炭纪-二叠纪)的 SEDEX 型块状硫化物之上,使矿体的规模变大,品位增高(如冬瓜山铜矿床)(曾普胜等,2002)。因而,燕山期岩浆流体系统的时空结构的研究对于该区成矿期次和矿床成因类型的划分以及找矿远景区的预测和圈定都有极为重要的意义。

* 本文受国土资源部专项研究计划(编号:20010103)、国家自然科学基金重点项目(批准号:40234051)和地质调查项目(编号:20010000004)资助

第一作者 曾普胜,1964 年生,副研究员,主要从事岩石学和矿床学研究。Email: zengpusheng@sohu.com。

收稿日期 2003-12-10;改回日期 2004-07-10。张绮玲编辑。

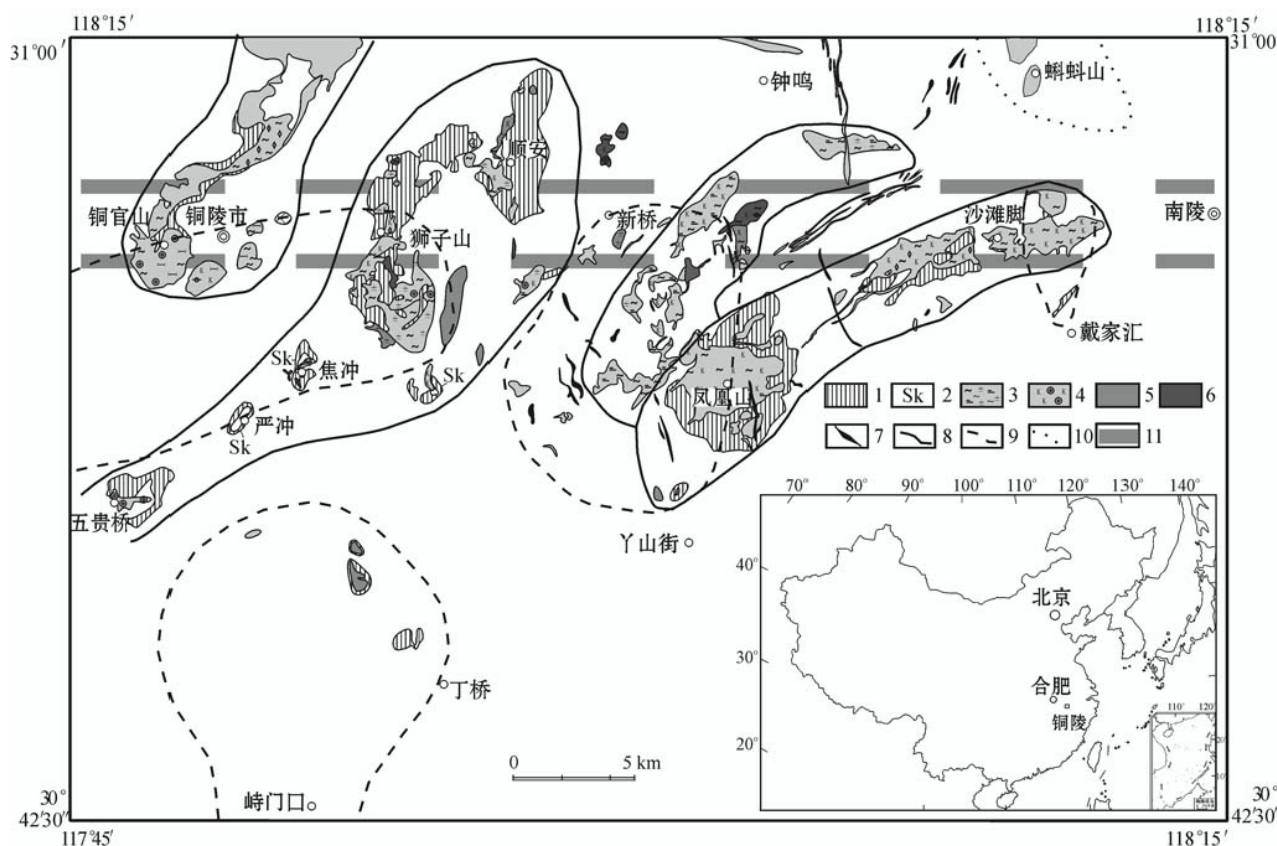


图 1 安徽铜陵矿集区燕山期岩浆岩流体系统分布图

1—大理岩化带;2—矽卡岩化带;3—粘土化、云母化石英二长闪长岩体;4—硅化、钾化石英二长闪长岩体;5—花岗闪长岩;6—辉石二长闪长岩;7—岩脉;8—狮子山子系统流体域;9—鸡冠山子系统流体域;10—蝌蚪山子系统流体域;11—隐伏基底断裂

Fig.1 Distribution of the Yanshanian magmatic fluid systems in Tongling ore concentration area, Anhui Province

1—Marbleization zone; 2—Skarnization zone; 3—Argillic alteration and micatization quartz monzodiorite; 4—Silicification, potassic alteration quartz monzodiorite; 5—Granodiorite; 6—Pyroxene monzodiorite; 7—Porphyry vein; 8—Shizishan subsystem fluid domain; 9—Jiguanshi subsystem fluid domain; 10—Kedoushan subsystem fluid domain; 11—Hidden fundamental fault

2 燕山期岩浆流体系统的划分及时空格架

通过野外填图和同位素测年,并结合前人资料,可初步建立起铜陵地区成矿流体的空间分布(图 1)和时间格架(图 2, 表 1)。铜陵矿集区,由于地幔底侵作用^①,在燕山中晚期发生了大规模的岩浆活动,不同的岩浆活动阶段和不同的动力学背景产生出不同的流体系统,对应于不同的成矿作用(表 2)。晚侏罗世时期(153~139 Ma),岩浆活动以高钾钙碱性岩为主,形成铜陵地区广泛分布的与矽卡岩成矿关系密切的岩浆流体系统;进入早白垩世(139~133 Ma),由于区域构造应力向张性转化,发育了本区与斑岩型矿化有关的流体系统;至早白垩世晚期(122~110 Ma),构造背景处于进一步拉张环境,岩石圈减薄(邓晋福等,1999;2001),形成与“宁芜式”玢岩铁矿有关的大规模火山活动,主要分布于繁昌盆地,同时其流体

活动叠加于铜陵地块之上。

2.1 岩浆流体系统的划分

燕山期岩浆流体系统是铜陵矿集区的几个流体系统(蒙义峰等,2004)之一,又是与 Cu-Au 成矿作用关系最为密切的成矿流体系统,因而燕山期岩浆作用与铜金成矿的关系素来受到地质学家的重视(郭文魁,1957;郭宗山,1957;常印佛等,1965;1983;1991;唐永成等,1998;翟裕生等,1980;1992;Zhao et al., 1996)。填图结果表明,本区的岩浆流体系统包括两类 4 个子系统。一类是与燕山期(153~133 Ma)侵入岩有关的铜陵侵入岩岩浆流体系统,发育于晚侏罗世—早白垩世,与酸性岩浆侵入活动密切相关,受近东西向铜陵-南陵基底断裂控制(常印佛等,1991;唐永成等,1998)。依据其活动时间先后和流体活动特征,可进一步划分为早、晚 2 个流体系统:①早期(153~139 Ma)的狮子山矽卡岩子系统;②晚期(139~133 Ma)的沙滩脚斑岩子系统。另一类是与燕山晚期(122

① 中国地质科学院矿产资源研究所, 2003, “大型矿集区深部精细结构与含矿信息”项目阶段研究报告。

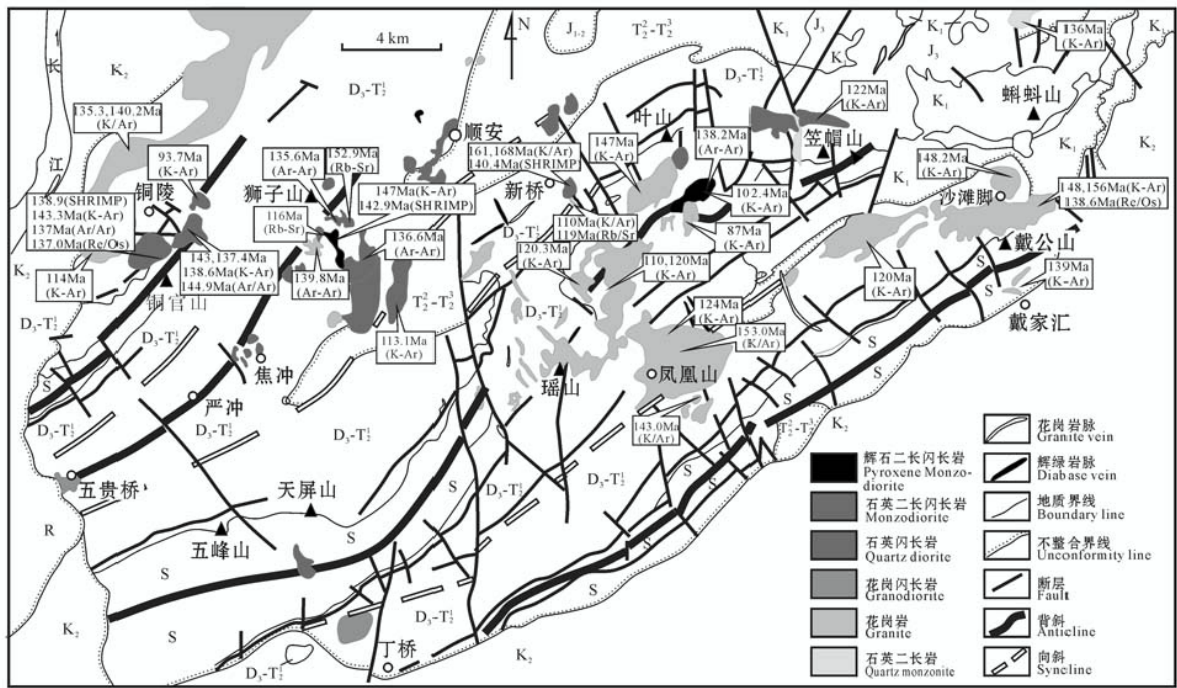


图 2 安徽铜陵矿集区岩浆岩时空分布图(据 Wu et al., 2000 补充)

Fig.2 Temporal-spatial distribution of magmatic rocks in Tongling area, Anhui Province(after Wu et al., 2000, with some new data added)

表 1 铜陵地区岩浆-成矿流体的时间格架

Table 1 Chronological framework of magmatic - metallogenic fluids in Tongling area

岩 性	测试对象	测试方法	年龄值/ Ma	资料来源
蝌蚪山子系统和鸡冠石子系统				
新桥受改造的层状矿体	黄铁矿	Rb-Sr 等时线	112.6 ± 7.8	王彦斌等, 2004d
牧家亭正长岩	全岩	K-Ar	122	Wu et al., 2000
新桥矾头辉绿岩脉	全岩	K-Ar	110	Zhai et al., 1996
白芒山石英二长闪长岩	斜长石/黑云母/全岩	Rb-Sr 等时线	116	Wu et al., 2000
凤凰山含铜砂卡岩	方铅矿	U-Th-Pb	112.58	Wu et al., 2000
凤凰山花岗闪长岩	黑云母	K-Ar	119	Wu et al., 2000
凤凰山灰黑色黑云二长花岗岩	斜长石	K-Ar	102.9 ± 4.3	本文
凤凰山新桥头多斑花岗闪长岩	斜长石	K-Ar	121.9 ± 1.9	本文
小铜官山肉红色二长花岗岩斑岩脉	全岩	K-Ar	114.8 ± 2.0	本文
铜官山晚期蚀变石英二长闪长岩	全岩	K-Ar	119.3 ± 2.2	本文
铜官山含铜砂卡岩	方铅矿	U-Th-Pb	118	Wu et al., 2000
沙滩脚子系统(斑岩型)				
金口岭含辉钼矿蚀变花岗闪长岩	辉钼矿	Re-Os	137.0 ± 0.19	本文
塌里牧含辉钼矿蚀变花岗闪长岩	辉钼矿	Re-Os	138.6 ± 0.2	本文
塌里牧钾长石化花岗闪长岩	黑云母	Ar-Ar 坪年龄	133.6 ± 0.6	本文
凤凰山花岗闪长岩	黑云母	K-Ar	133	Wu et al., 2000
冬瓜山石英二长闪长岩	黑云母	Ar-Ar	135.8 ± 1.1	吴才来等, 1996
舒家店辉石二长闪长岩	黑云母	Ar-Ar	138.2 ± 4.6	吴才来等, 1996
湖城洞辉长辉绿岩	黑云母	Ar-Ar	133.7 ± 0.9	吴才来等, 1996
金口岭花岗闪长岩岩体	黑云母	Ar-Ar	137.3	周泰禧等, 1987
小铜官山肉红色二长花岗岩	锆石	SHRIMP	133.3 ± 3.2	王彦斌等, 2004c
狮子山子系统(砂卡岩型)				
胡村花岗闪长岩	黑云母	Ar-Ar	139.8 ± 0.8	吴才来等, 1996
沙滩脚花岗闪长岩	黑云母	K-Ar	148.2 ± 2.1	李进文, 2004
凤凰山灰黑色黑云花岗闪长岩	黑云母	K-Ar	152.9 ± 2.9	本文
清水塘灰色细粒花岗闪长岩	黑云母	K-Ar	143.4 ± 2.2	本文
新桥矾头石英二长闪长岩	锆石	SHRIMP	140.4 ± 2.0	王彦斌等, 2004a
朝山辉石二长闪长岩	锆石	SHRIMP	142.9 ± 1.1	王彦斌等, 2004b
铜官山石英二长闪长岩岩体	锆石	SHRIMP	138.9 ± 3.1	王彦斌等, 2004c
金云母黄铜矿磁铁矿砂卡岩矿石	金云母	Ar-Ar 坪年龄	144.9 ± 0.4	本文
白芒山辉石二长闪长岩	全岩	K-Ar	147	吴才来等, 2000

注: K-Ar 年龄由中国地质科学院氩-氦同位素室测定; Ar-Ar 年龄由中科院广州地球化学研究所同位素室测试; Re-Os 由国家地质实验测试中心杜安道、屈文俊测试。

表 2 铜陵地区岩浆流体系统的划分

Table 2 Classification of magmatic fluid systems in Tongling area

岩浆流体系统及活动时间	填图流体单元	填图代号	主要产地
与侵入岩有关的岩浆流体系统, 153 ~ 133 Ma			
狮子山子系统, 153 ~ 139 Ma			
	浆砂卡岩单元	J ₃ Ssk	东狮子山
	接触交代砂卡岩单元	J ₃ Ssk	小铜官山、天鹅抱蛋山、西狮子山、药园山、宝山陶、江家冲、沙滩脚
	层砂卡岩单元	J ₃ Ssk	冬瓜山、大团山、老鸦岭
	热变质单元	J ₃ Sm	狮子山矿田
	热液单元	J ₃ Sh	小金山、笠帽山
沙滩脚子系统, 139 ~ 133 Ma			
	爆破角砾岩单元	J ₃ Se	东狮子山、药园山
	钾硅酸盐蚀变单元	K ₁ Se	沙滩脚、冬瓜山深部、相思树
与繁昌火山岩有关的岩浆流体系统, 122 ~ 110 Ma			
蝌蚪山子系统			
	蚀变单元	K ₁ K	蝌蚪山一带
鸡冠石子系统			
	充填单元和蚀变单元	K ₁ J	鸡冠石、包村、小铜官山、桥头杨

~ 110 Ma) 繁昌盆地火山岩有关的火山岩流体系统, 受北东侧凹陷盆地的控制, 构造背景为张性, 与富碱中酸性火山喷发活动密切相关, 与“宁芜式”玢岩铁矿和金矿关系密切, 分布于繁昌火山岩盆地南侧与铜陵矿集区北侧的交接地带, 包括 ③盆地内的蝌蚪山子系统和 ④叠加于铜陵地块内的中低温热液流体子系统——鸡冠石子系统。在 4 个子系统中, 前 2 个子系统是铜陵地区最重要的成矿流体系统。按各子系统矿物组合和空间分带, 各子系统又可划分为不同的流体单元(表 2), 流体单元是填图的基本单位。

2.2 岩浆流体系统的特征及时空结构

2.2.1 晚侏罗世-早白垩世早期侵入岩流体系统(153 ~ 139 Ma)

该流体系统按时间先后可分为以下 2 个子系统。

狮子山子系统(晚侏罗世): 或称砂卡岩子系统。与燕山中期的辉石二长闪长岩、石英二长闪长岩等的侵入活动密切相关, 流体以侵入岩体为中心, 沿岩体接触带活动, 形成一套独具特色的砂卡岩围绕岩体呈环带式分布。由于形成条件的不同, 砂卡岩特征各异, 包括东狮子山铜矿床的浆砂卡岩(隐爆角砾岩砂卡岩)、药园山铜矿床的钙砂卡岩、小铜官山铜矿床的镁砂卡岩、老鸦岭铜矿床的层砂卡岩、小金山金矿床和江家冲铜矿床的富挥发分砂卡岩等。活动时间相对较早, 为 153 ~ 139 Ma(表 1), 其中小铜官山与磁铁矿共生的金云母的单矿物 Ar-Ar 坪年龄为 (144.9 ± 0.4) Ma, 推测小铜官山的石榴石砂卡岩和透辉石砂卡岩等, 以及相关的石英二长闪长岩要早于 145 Ma。已有资料(图 2)显示, 沿东西向铜陵-南陵断裂, 岩体的侵入有从东到西(沙滩脚→凤凰山→新桥→狮子山→铜官山)逐渐变新的趋势, 据此推断, 铜陵地区与早期砂卡岩有关的流体活动, 即狮子山子系统的活动时代应早于 145 Ma。各岩浆活动中心构成一个相对独立的流体活动域, 在铜陵矿集区范围内发育了铜官山、狮子山、焦冲、严冲、五贵桥、矾头山、舒家店和沙滩脚等主要的流体活动域。纵观各流体活动域的空间展布形式, 显示受近 EW 向基底断裂和 NE 向

盖层构造联合控制的特征。即近 EW 向的铜陵-戴家汇基底断裂, 控制着主要的流体活动域(铜官山、狮子山、矾头山、舒家店和沙滩脚), 这些占主导的流体活动域位于与近 NS 向基底断裂交汇部位; 而 NE 向的盖层构造控制着单个流体活动域的地表分布, 青山背斜的狮子山、焦冲、严冲、五贵桥流体活动域呈 NE 向串珠状排列。因此, 近 EW 向基底断裂控制流体深部上升的通道, NE 向的盖层构造控制流体浅部的定位空间。其中以狮子山矿田的流体记录保存相对完整。

狮子山流体活动域位于青山背斜北东端, 靠近背斜轴部分布有青山脚、大团山、老鸦岭、胡村、乌栗山、鸡冠山、白芒山(朝山)、包村、龙塘湖、龟山、小金山、笠帽山等众多侵入岩体, 总体受矿田深部的隐伏岩基控制(常印佛等, 1991; 翟裕生等, 1992)。矿田内碳酸盐岩地层在热场作用范围内发生大理岩化, 呈半环形接触热变质晕圈沿青山背斜呈北东向展布, 长约 15 km, 宽约 2 ~ 5 km(图 3)。

在各岩体的接触带, 有块状的接触交代砂卡岩围绕岩体断续分布, 并见条带状层砂卡岩在接触带外侧的下三叠统和龙山组中呈面型分布。在东狮子山一带, 产出有北东向展布的砂卡岩角砾岩筒, 系岩浆演化产生的砂卡岩稀岩浆(浆砂卡岩, 吴言昌, 1992) 发生隐爆侵位所形成, 其形成温度高达 1 126 °C(王训诚等, 2002), 盐度 $w(\text{NaCl}_{\text{eq}})$ 超过 42 %, 代表了一种富水残浆(肖新建等, 2002), 是一种高温高盐度的超临界流体, 其晚期流体的温度为 472 ~ 265 °C, 盐度 $w(\text{NaCl}_{\text{eq}})$ 为 20.2 % ~ 2.1 %(肖新建等, 2002), 反映出狮子山矿田曾经历过高温超临界流体向中低温流体演化的多期岩浆活动叠加的复杂过程。在南陵湖组地层中有典型的接触交代砂卡岩和条带状砂卡岩被面型分布的大理岩化带包围。背斜北东端的小金山和笠帽山一带, 发育一套自形粗晶(粒径 1 ~ 20 mm)的符山石砂卡岩, 反映出狮子山矿田内富气、液挥发组分的成矿流体有向青山背斜北东端聚集的趋势, 这种远程热液活动过程有利于金的聚集成矿。

沙滩脚子系统: 以中高温热液蚀变及浸染状黄铜矿和辉

钼矿化为主,具有斑岩型矿化的特征,呈点状分布于燕山中晚期的中酸性侵入岩体内及附近,叠加于早期的矽卡岩和大理岩带之上,主要见于沙滩脚、舒家店-凤凰山相思树、冬瓜山深部、金口岭、枣树岭等地。蚀变类型包括硅化、钾化、绢云母化、青磐岩化和碳酸盐胶结的隐爆角砾岩筒等。区域蚀变-流体记录分布特征为:沙滩脚一带主要分布于沙滩脚岩体的西侧,呈近 NS 向展布于沙滩脚-塌里牧一线,使岩体发生强烈的钾长石化、硅化,早期的矽卡岩发生强烈的绢英岩化、绿泥石化和青磐岩化,并产生网脉浸染状的黄铜矿和辉钼矿化;沿舒家店-黑子坑-李冲-药园山-相思树一线,斑岩型矿化带也呈 NS 向展布,表现为岩体以线型为主的强烈钾长石化、硅化和以面型为主的绢云母化、青磐岩化,并伴随网脉状的辉钼矿化,在岩体接触带部位及外侧的大理岩带上叠加隐爆角砾岩筒,棱角状的矽卡岩角砾和大理岩角砾被碳酸盐岩充填胶结,胶结物为方解石,呈同心环状、条带状分布,伴有少量硫化物,如黄铁矿、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿;冬瓜山一带主要见于深部的岩体及周围五通组砂岩中,呈 NS 向脉体产出,发育强烈的钾长石化、黑云母化、硅化、绢云母化及网脉状黄铜矿化和辉钼矿化;金口岭一带叠加于金口岭岩体南东部的接触带两侧,使岩体和矽卡岩发生钾长石化、绢云母化、绿泥石化和网脉状黄铜矿、辉钼矿化;枣树岭一带主要在三叠系地层中形成方解石胶结的隐爆角砾岩筒。上述斑岩型矿化带或脉体,总体表现出呈近 NS 向展布的特征,明显不同于狮子山子系统 NE 向产出的特点。表明其构造应力场发生了明显改变,以 NE-SW 向剪切拉张占主导。辉钼矿 Re-Os 等时线年龄和 Ar-Ar 坪年龄(表 1)显示,活动时间主要集中在 139~133 Ma 之间。

2.2.2 早白垩世晚期火山岩流体系统(122~110 Ma)

繁昌盆地燕山晚期大规模火山喷发活动引发了一套与火山机构相关的流体系统,产生的独特流体记录分布于火山盆地及与之相邻的铜陵矿集区东北部。按流体记录的产出特征及分布情况,可进一步分为以下 2 个子系统。

蝌蚪山子系统:在繁昌盆地火山岩系中,以中低温热液蚀变和脉体充填为特征。在繁昌盆地南端的蝌蚪山东侧羊殖场和北侧歪歪山-八分村一带最发育,呈半环状围绕蝌蚪山火山机构展布。羊殖场一带的下白垩统蝌蚪山组流纹岩中沿构造裂隙充填的胶黄铁矿和蛋白石细网脉,显示火山活动晚期低温热液充填的特征;歪歪山-八分村一带中三叠统铜头尖组碎屑岩和上侏罗统中分群组流纹岩具面型硅化,显示火山活动晚期低温热液蚀变特征。因此,蝌蚪山流体活动域为火山活动晚期的低温热液活动场所,主要分布于浅部层位的火山岩系中。在破火山机构的放射状及环状断裂充填有石英-镜铁矿脉、石英-黄铁矿-方铅矿-闪锌矿脉、方解石-方铅矿-闪锌矿脉等,由于出露面积较小,研究程度相对较低,流体单元未作详细划分。前人对这一时期的浅成侵入体牧家亭岩体的测年为 122 Ma(图 2)(Wu et al., 2000)。

鸡冠石子系统:主要表现为沿近 NS 向和近 EW 向张性断裂活动的中低温热液充填脉体,常伴生有金银矿化,主要活

动时间 122~110 Ma(表 2),与繁昌火山活动同时,是进一步拉张背景下形成的富金、铁的碱性玄武岩浆活动的流体在相对坚固的铜陵地块内部的表现,以鸡冠石银金矿最为典型,笼统划分为鸡冠石流体子系统,由沿断裂裂隙分布的充填单元和两侧围岩中的蚀变单元组成。因距火山岩盆地的远近不同,表现形式也各不相同。例如,在远离火山岩盆地的马山-小铜官山一带,表现为近 SN 向、近 EW 向展布的含金毒砂-胶黄铁矿脉,穿切早期的矽卡岩和石英二长闪长岩,脉侧产生绿泥石化和碳酸盐化蚀变。在流体活动的同时,有二长花岗岩斑岩脉产出,脉体的 K-Ar 年龄为 (114.8 ± 2.0) Ma。而在稍近的狮子山矿田的鸡冠石、龙虎山、包村一带,近 EW 向、NS 向的石英-硫化物脉切穿早期的各类岩体和条带状矽卡岩,并使两侧的闪长岩发生硅化、高岭石化和绿泥石化蚀变,鸡冠石矿区脉体主要为含银黝铜矿,而包村-龙虎山则为含金胶黄铁矿-黝铜矿-石英脉,以发育低温硫酸盐矿物和胶黄铁矿等为特征,并常伴有煌斑岩脉产出。在潘冲-棋子冲一带,多条近 NS 向张性断裂穿切燕山晚期的花岗岩斑岩脉,沿断裂充填石英-黄铁矿脉,并使两侧的花岗斑岩发生硅化和绢云母化。在新桥矿田,NS 向、EW 向的胶黄铁矿-石英脉叠加于早期的块状硫化物之上,脉侧的早期硫化物重结晶,并伴有张性构造背景中常见的辉绿岩脉和花岗斑岩脉产出。黄铁矿脉的 Rb-Sr 等时线年龄为 (112.6 ± 7.8) Ma(王彦斌等, 2004d),花岗斑岩脉的 K-Ar 年龄为 110 Ma(Zhai et al., 1996)。凤凰山矿田西侧的新桥头多斑花岗岩闪长岩岩体年龄为 (121.9 ± 1.9) Ma(表 1),凤凰山矿田伴有多条近 NS 向产出的辉绿岩脉。铜陵地块内的鸡冠石子系统的流体活动表现为沿近 NS 向和近 EW 向张性断裂充填的低温热液脉体为主,并随着距繁昌火山岩盆地距离增大(从凤凰山矿田→狮子山矿田→铜官山矿田),流体温度和强度逐渐减弱。

3 岩浆成因的初步探讨

通过上述流体系统分析,并结合前人区域研究资料,可对铜陵地区的岩浆成因作初步探讨。

3.1 燕山期岩浆活动与太平洋板块俯冲作用无关

尽管部分研究者(Lion et al., 1995)把下扬子地区,包括大别山和北淮阳的 J_3 和 K_1 的火山喷发归入与超高压带(UHP)形成有成因联系的碰撞后的岩浆活动,从而印支期和燕山期就被看作是一次碰撞造山运动的结果,即印支期为 UHP 形成的碰撞造山带,燕山期则被看作碰撞后的事件来处理。但事实上,印支期和燕山期是两次相对独立的造山运动,各自都有一个完整的造山和造山后发育的构造-岩浆旋回(邓晋福等, 2001),印支期从金子运动(240 Ma)开始,到南象运动(205 Ma)结束,在铜陵地区整个碰撞造山过程中岩浆活动并不强烈,只在晚期于造山带东、西两端发育 A 型花岗岩类(216~205 Ma),再经历了前陆盆地时期(朱光等, 1998)的过渡,才开始本区晚侏罗世-早白垩世的大规模岩浆活动。燕山

期岩浆活动时期从 180 Ma 至 85 Ma, 但多集中在 153 ~ 139 Ma 左右。因此, 从时间上, 本区岩浆活动不能归因于印支期华北板块与扬子板块的碰撞。

中国东部从西侧的太原-西安一线至东边台湾太鲁阁约 1 000 km 的晚中生代火成岩难以用太平洋板块向欧亚板块作变角度(从大约 10° 增大至约 80°) 俯冲的模式(李武显等, 1999; 2001) 来解释。通常地, 俯冲作用导致的岩浆作用, 总是靠俯冲带一侧的偏老, 而远离俯冲带逐渐变新, 且岩石系列有从钙碱性系列 $\rightarrow$ 高钾钙碱性系列 $\rightarrow$ 钾玄岩系列演变的趋势。这是由于俯冲板片依次俯冲下插, 地壳厚度不断增厚的结果。中国东部中生代岩浆岩, 无论是时间序列上还是空间分带和岩石系列上, 都表现为与俯冲带型的岩浆岩相反的格局, 很难用俯冲带模式去解释。矿产特征上也缺乏压性环境中的“南美式”大型斑岩铜矿, 斑岩铜矿缺少的原因不能归结为斑岩的剥蚀改造, 因为铜陵地区所见的岩体大多数剥蚀浅、中等, 只有凤凰山岩体剥蚀较深。由此可见, 太平洋板块向华南板块俯冲导致岩浆形成的可能性不大。

(La/Yb)_N-Yb_N 图解和 (Sr/Y)-Y 图解是区分埃达克岩与经典岛弧岩石的两个重要的判别图解, 铜陵地区的侵入岩大部分落于经典岛弧岩石的范围内(图 4.5)。

从目前的研究来看, 埃达克岩的成因可能有两种, 一种由年轻的热的俯冲板片熔融形成(Defant, 1990); 另一种是在增厚的陆壳(>40 km) 环境中由底侵的玄武质下地壳熔融形成(张旗等, 2001)。虽然本区燕山早期的地壳厚度 ≥ 55 km(邓晋福等, 1996), 但大部分岩体落于经典岛弧岩石的范围, 且本区侵入岩 K₂O 明显偏高, 而 Al₂O₃, Mg# 偏低。因此, 铜陵地区的侵入岩不是埃达克岩。

由上可知, 燕山期岩浆岩, 既不是华北板块与扬子板块碰撞后伸展, 也不是太平洋板块向欧亚板块之下俯冲的结果, 也不属于加厚陆壳条件下产生的埃达克岩石。更可能是拉张条

件下的“滞后型”岩浆岩。

3.2 走滑拉张背景下的“滞后型”岩浆活动

长江中下游地区的燕山期(153 ~ 133 Ma 左右) 岩浆活动, 虽然都以钙碱性系列(唐永成等, 1998; 曾普胜, 2002) 为主, 但从铜陵-九瑞一带的西部地区, 岩浆活动以侵入岩为主; 而东部的苏州一带, 则喷出岩大量发育, 表明岩浆活动期间, 东、西两端的构造背景差异较大——东部拉张比西部强烈, 导致西部只发育侵入岩, 而东部既有喷出岩又有侵入岩。这种钙碱性系列的岩浆活动, 可能是与印支期(220 ~ 210 Ma, 张宗清等, 2002) 扬子板块向华北板块下俯冲形成的“潜伏”岩浆源区有关。晚侏罗世-早白垩世时期, 由于太平洋板块向北东向的牵拉(图 6a), 导致扬子板块以大别造山带的广济一带为枢纽(支点) 作逆时针转动, 引起岩石圈的拉张(当时的张力应是北东向的), 但由于距支点的距离不同, 东部的拉张比西部更强烈, 导致东部有喷出岩, 而西部只有侵入岩(图 6b)。事实上, 这一时期的岩浆活动是跨地质构造单元的, 不仅扬子地台区有这种类型的花岗岩类, 属于大别造山带的桐柏山-大别山地区也广泛发育 140 ~ 80 Ma 的岩体(李石等, 1991), 这些岩体时间上明显晚于扬子板块向中朝板块俯冲的时期(220 ~ 210 Ma)(张宗清等, 2002)。

需要注意的是, 导致这类岩浆活动的拉张是有限的, 早期还不足以引起岩石圈减薄, 只是导致“潜伏源区”的岩浆上涌, 类似于西南三江地区局部的“滞后型”岩浆岩(莫宣学等, 1992), 与其密切相关的区域构造背景则是挤压走滑为主(如郯庐断裂)(万天丰, 1995), 只是在力臂的支点(广济) 以东的地区出现一个扇形拉张区(图 6a)。而繁昌盆地等一系列碱性流纹岩及相关的碱性玄武岩则是进一步牵引拉张的结果, 前人的研究也认为中国东部新生代玄武岩不受俯冲作用的控制, 而是在 111.4 ~ 119.6 Ma 期间(邱检生等, 1996) “东亚大陆裂谷系”的产物(邓晋福, 1992; 1994)。

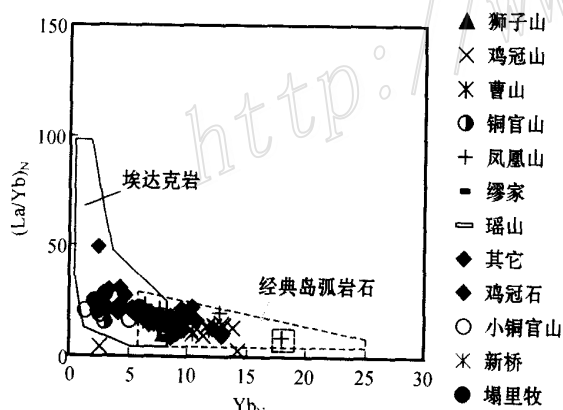


图 4 铜陵地区侵入岩 (La/Yb)_N-Yb_N 图解

Fig. 4 (La/Yb)_N-Yb_N diagram of the intrusions in Tongling area (after Drummond et al., 1990)

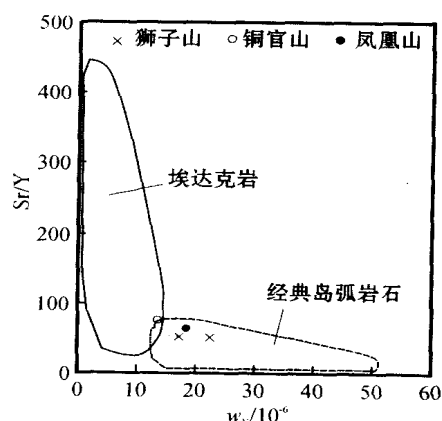


图 5 铜陵地区侵入岩 (Sr/Y)-Y 图解

Fig. 5 (Sr/Y)-Y diagram of the intrusions in Tongling area (after Drummond et al., 1990)

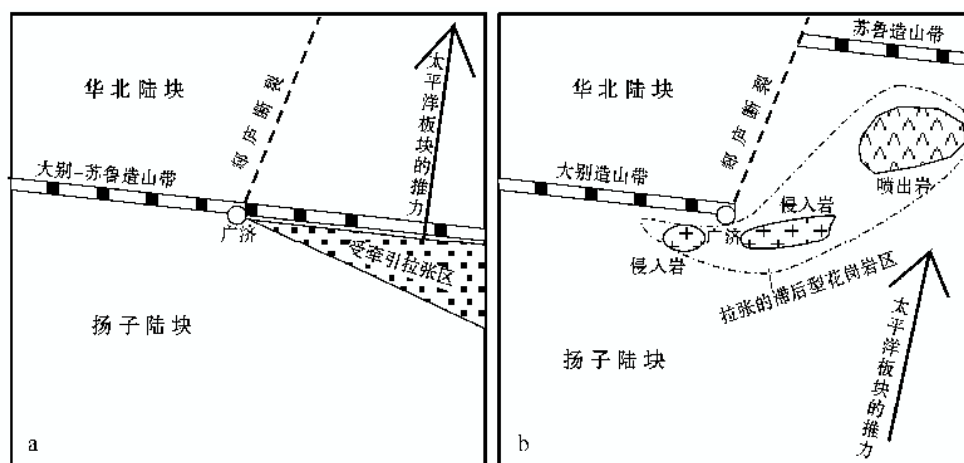


图6 长江中下游地区花岗岩类成因模式图

a. 沿郯庐断裂走滑前; b. 沿郯庐断裂走滑后

Fig.6 Genetic model of granitoids in the middle-lower Yangtze area

a. Before strike-slipping along the Tancheng-Lujiang fault; b. After strike-slipping along the Tancheng-Lujiang fault

4 燕山期岩浆流体与成矿关系

常印佛等(1983)早就明确指出,“岩浆岩的作用是肯定的,容矿层位的作用也不容忽视。”并据此提出了“层控式矽卡岩矿床”著名学说。毫无疑问,岩浆活动对铜陵地区的铜、金矿床的形成起着不可或缺的作用,但岩浆活动对矿床的形成有双重作用。

一方面,岩浆流体自身可形成矿床,并且不同时期不同类型岩浆活动形成不同的矿床。狮子山子系统的高钾钙碱性系列侵入岩的成矿流体与矽卡岩型铜金矿关系密切;而沙滩脚子系统主要与斑岩型铜金矿化有关;蝌蚪山子系统的与碱性火山岩有关的成矿流体和鸡冠石子系统成矿流体则主要与浅成低温热液型金、银矿化有关。岩浆岩也有一定的成矿属性,本区燕山期较早期的辉长二长闪长岩与金矿关系密切(如朝山、焦冲等),而石英二长闪长岩则明显与铜矿关系密切(邓晋福等,1992;唐永成等,1998; Xu et al., 2001),与繁昌盆地火山岩同期的侵入体也与金矿化关系密切。

另一方面,燕山期岩浆活动对早期的同生沉积矿床或矿胚层进行叠加改造,使同生沉积矿床品位变富,规模变大,使矿床具有更大的经济价值。归纳起来,铜陵地区燕山期岩浆活动对块状硫化物矿床叠加改造程度不同,表现形式也不同。在新桥、大成山背斜、永村桥背斜、峙门口、铜官山背斜南端,岩浆活动的叠加改造相对较弱,块状硫化物矿床基本保持原来的矿物组合和结构构造。而燕山期岩浆活动叠加改造强烈的狮子山矿田和铜官山矿田,其面貌已发生根本变化。在更晚的燕山晚期近火山机构的(高温)岩浆热液的叠加改造下,矿床的叠加改造情形会更加复杂,如叶山铁矿已类似于“矿浆型”。经燕山期岩浆成矿作用的叠加、改造,可使较贫的矿体

得到再次富集,同时岩浆岩自身也带来一部分铜金等成矿物质,在矽卡岩型成矿过程中增补到矿化带内,才有可能在长江中下游地区形成全球独特的大型-超大型的矽卡岩型铜(金)矿床。因此,海西期同生沉积成矿作用和燕山期中酸性侵入岩的岩浆成矿作用对于铜陵地区大型-超大型铜、金矿床的形成都具有重要贡献,两者同等重要,缺一不可。

值得注意的是,晚期岩浆上升的通道与早期热水沉积的喷流通道在空间上相近(如新桥)或重合(如冬瓜山、铜官山)。这些薄弱地带(attenuated zone)正是地质流体运移、上升的最佳“途径”。晚期岩浆流体“借用”早期热水沉积的这些“软弱”的喷流通道,也正是早期的SEDEX型矿床常被晚期岩浆活动叠加的原因之一(曾普胜等,2002)。燕山期岩浆活动对海西期的同生沉积的块状硫化物矿床的叠加和改造,才是铜陵地区乃至整个长江中下游能够形成全球独特的大型-超大型“矽卡岩”型铜金矿床的真正原因。

5 结论

(1) 燕山期岩浆流体系统是铜陵地区与Cu-Au成矿作用关系最为密切的成矿流体系统,分为两类4个子系统。一类是与燕山期(153~133 Ma)侵入岩有关的铜陵侵入岩岩浆流体系统,包括①早期(153~139 Ma)的狮子山矽卡岩子系统和②晚期(139~133 Ma)的沙滩脚斑岩子系统;另一类是与燕山晚期(122~110 Ma)繁昌盆地喷出岩有关的繁昌喷出岩流体系统,包括:③盆地内的蝌蚪山子系统和④叠加于铜陵地区最重要的成矿流体系统。

(2) 铜陵地区高钾钙碱性中酸性侵入岩的成因,从时间上看,不是华北板块与扬子板块俯冲时期形成的,也不是太平洋板块向欧亚板块俯冲所致,地球化学特征上看也不属于加

厚陆壳(或陆壳俯冲)形成的埃达克岩。更可能的形成方式是:在郯庐断裂的东侧,由于太平洋板块向北东向的挤压牵拉,导致扬子板块以大别造山带的广济一带为枢纽(支点)作逆时针转动,引起岩石圈的拉张(当时的张力方向应是北东向的)导致“滞后型”岩浆活动,这种有限的拉张,早期(153~139 Ma)还不足以引起岩石圈减薄,只能导致“潜伏源区”的岩浆上涌,形成类似于西南三江地区的“滞后型”岩浆岩(莫宣学, 1992);而晚期(122~110 Ma)进一步的拉张导致岩石圈减薄(岩石圈大灾变,邓晋福等, 1999), 繁昌盆地等一系列碱性岩浆活动(邱检生等, 1996)的形成。

(3) 岩浆不仅自身可形成独立矿床,岩浆活动还可沿海西期形成的同生断裂等构造薄弱带上侵,对同生沉积矿床或矿胚层叠加改造,并增补铜、金等成矿物质,使层状矿体变富,规模变大,在铜陵地区形成全球特有的大型-超大型矽卡岩型铜矿床。狮子山子系统主要与矽卡岩型铜金矿化有关;沙滩脚子系统与斑岩型铜矿化有关;蝌蚪山系统和鸡冠石子系统与浅成低温热液型金银矿化有关。

致谢 工作中得到常印佛院士、陈克强研究员、董树文研究员、赵一鸣研究员和邓军教授等的热情指导和帮助;野外填图得到安徽省地勘局储国正博士、孙军高级工程师和 321 地质队牟立品队长、许发有总工和地调所姜章平总工、周育才高工、郭祥焱高工等领导和专家的支持;采样工作得到狮子山铜业股份有限公司的陈邦国科长、周贵斌工程师等,青山金矿的程年进科长、新桥矿业公司生产技术部刘宏勋部长、宋刚工程师、高茂生工程师等,虎山金矿的方七林矿长等及峙门口硫铁矿和凤凰山铜矿等的多方支持。侯增谦研究员审阅了初稿并提出了具体修改意见。在此一并深表谢意。

References

- Chang Y F, et al. 1965. Discussion about some problems of endogenic metal mineralization[J]. *Geology in China*, (2) (in Chinese).
- Chang Y F and Liu X G. 1983. On stratabound skarn: example from some deposits of the Lower Yangtze River area in Anhui Province [J]. *Mineral Deposits*, 2(1): 11~20 (in Chinese with English abstract).
- Chang Y F, Liu X P and Wu Y C. 1991. Fe-Cu metallogenic belt in the Lower Yangtze River[M]. Beijing: Geol. Pub. House. 1~379 (in Chinese with English abstract).
- Defant M J, Drummond M S. 1990. Derivation of some modern arc magmas by melting of young subducted lithosphere[J]. *Nature*, 347: 662~665.
- Deng J F, et al. 1992. Deep process of the volcanism and the formation of basins in the Lower Yangtze craton[M]. Wuhan: China Univ. Geosciences Pub. House (in Chinese with English abstract).
- Deng J F. 1994. Study on Cenozoic basalts and upper mantle in the eastern China[J]. *Earth Science Frontiers*, 1(1~2): 194.
- Deng J F, Zhao H L, Mo X X, et al. 1996. Continental root-plume tectonics: a key for continental dynamics[M]. Beijing: Geol. Pub. House. 1~110 (in Chinese with English abstract).
- Deng J F, Mo X X, Zhao H L, et al. 1999. The Yanshanian lithosphere-aesthenosphere catastrophe and metallogenic environment in East China[J]. *Mineral Deposits*, 18(4): 309~315 (in Chinese with English abstract).
- Deng J F and Wu Z X. 2001. Lithospheric thinning events in the Lower Yangtze Craton and Cu-Fe metallogenic belt in the Middle and Lower Yangtze River Reaches[J]. *Geology of Anhui*, 11(2): 86~91 (in Chinese with English abstract).
- Guo W K. 1957. On genesis of copper deposit in Tongguanshan, Anhui [J]. *Acta Geologica Sinica*, 37(3): 317~332 (in Chinese).
- Guo Z S. 1957. Some skarn-type copper deposits in the Lower Reach of the Yangtze River[J]. *Acta Geologica Sinica*, 37(1): 1~10 (in Chinese).
- Han F, Zhao R S, Shen J Z, et al. 1997. Geology and origin of ore in the Dachang tin-polymetallic ore field[M]. Beijing: Geol. Pub. House. 1~213 (in Chinese with English abstract).
- Li J W. 2004. Ore-controlling structure of orefield and ore-forming chemical kinetics of mineral assemblage area in tongling[D]. Beijing: Chinese Academy of Geological Sciences. Supervisor: Pei R F. 1~142 (in Chinese with English abstract).
- Li S and Wang T. 1991. Geochemistry of granitoids in Tongbaishan-Dabieshan, Central China[M]. Wuhan: China Univ. Geosciences Pub. House. 1~208 (in Chinese with English abstract).
- Li X W, Zhou X M. 1999. Study on the Late Mesozoic subduction zone in the southeastern China[J]. *Geological J. Chinese Univ*, 5(2): 164~169 (in Chinese with English abstract).
- Li X W and Zhou X M. 2001. Subduction of the paleo-Pacific plate and origin of late Mesozoic igneous rocks in southeastern China—Some supplement evidences for the model of lithosphere subduction and underplating of mafic magma[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 25(1): 55~63 (in Chinese with English abstract).
- Mao J R, Su Y X, Chen S Y, et al. 1990. Intermediate-acid intrusions and mineralization in the Lower-middle Reach of Yangtze River [M]. Beijing: Geol. Pub. House.
- Meng Y F, Hou Z Q, Yang Z S, et al. 2004. Alteration-fluid mapping and metallogenetic fluid system of Tongling ore concentrated area [J]. *Mineral Deposits*, 23(3): 261~270 (in Chinese with English abstract).
- Mo X X. 1992. Some problem in the study on volcanic rocks of orogenic belt in the Western of China[A]. In: Petrologic Division of China University of Geosciences, ed. Paper collection of petrology[C]. Wuhan: China Univ. Geosciences Pub. House. 47~55 (in Chinese with English abstract).
- Qiu J S, Wang D Z, Zhou J C, et al. 1996. Geology, geochemistry and genesis of the mesozoic shoshonitic volcanic rocks in Shandong province[J]. *Earth Science—J. China Univ. Geosciences*, 21(5): 546~552 (in Chinese with English abstract).
- Tang Y C, Wu Y C, Chu G Z, et al. 1998. Geology of copper-gold polymetallic deposits in the along-Changjiang area of Anhui Province

- [M]. Beijing: Geol. Pub. House. 1 ~ 351 (in Chinese with English abstract) .
- Wan T F. 1995. Evolution and paleo-stress of the Tancheng-Lujiang Fault Zone[J]. Earth Scienc—J. China Univ. Geoscience, 20(5): 526 ~ 534 (in Chinese with English abstract) .
- Wang Y B, Liu D Y, Meng Y F, et al. 2004a. SHRIMP U-Pb geochronology of the Xiqiao Cu-S-Fe-Au deposit in the Tongling ore district, Anhui[J]. Geology in China, 31(2): 169 ~ 173 (in Chinese with English abstract) .
- Wang Y B, Liu D Y, Zeng P S, et al. 2004c. SHRIMP U-Pb geochronology from Tongguanshan quartz-dioritic intrusions in the Tongling district and its petrogenetic implication[J]. Acta Petrologica et Mineralogica Sinica, 23(4): (in press) .
- Wang Y B, Liu D Y, Zeng P S, et al. 2004b. SHRIMP U-Pb geochronology of pyroxene diorite from ChaoShan gold deposit and its geological significance[J]. Acta Geoscientia sinica, (in Press) .
- Wang Y B, Tang S H, Wang J H, et al. 2004d. Rb-Sr dating of the Xinqiao Cu-S-Fe-Au deposit, Tongling, Anhui: evidence for Yanshanian metallogeny[J]. Acta Geologica Sinica, 78(3): (in press) .
- Wang X C, Jiang Z P, Meng Y F, et al. 2002. Study on tectonic-fluid systems in Tongling area[J]. Mineral Deposits, 21(Supp.): 1045 ~ 1047 (in Chinese) .
- Wu C L, Chen S N, Shi R Y, et al. 2003. Origin and features of the Mesozoic intermediate-acid intrusive in the Tongling area, Anhui, China[J]. Acta Geoscientia Sinica, 24(1): 41 ~ 48 (In Chinese with English abstract) .
- Wu C L, Wang Z H, Qiao D W, et al. 2001. Types of enclaves and their features and origins in intermediate-acid intrusive rocks from the Tongling district, Anhui Province, China[J]. Acta Geological Sinica, 74(1): 54 ~ 67 (In Chinese with English abstract) .
- Wu C L, Zhou X R, Huang X C, et al. 2000. A-type granite in Maotan, Anhui[J]. Acta Geologica Sinica, 72(3): 237 ~ 248 (in Chinese with English abstract) .
- Wu C L, Wang F S, Hao M Y, et al. 2000. Geochronology of intermediate-acid intrusive rocks from Tongling, Anhui[J]. Continental Dynamics, 5(1): 15 ~ 23 .
- Wu Y C. 1992. On magmatic skarn: a new type of skarn[J]. Geology of Anhui, 2(1): 12 ~ 26 (in Chinese with English abstract) .
- Xiao X J, Gu L X, Ni P. 2002. Relationship of multistage boiling of fluid inclusions of the Shizishan Cu-Au deposit in Tongling, Anhui, China[J]. Science in China(Series D), 32(3): 199 ~ 206 (in Chinese) .
- Xie J R. 1936. Age and regional distribution of deposits in China[J]. Geological Review, 1(3): 363 ~ 380 (in Chinese) .
- Zang W S, Fyfe W S, Chen Y. 2001. Lateritic gold deposits: an overview[J]. Geosciences, 15(2): 143 ~ 150 .
- Zeng P S, Pei R F, Hou Z Q, et al. 2002. Sedex-type massive sulfide deposits in Tongling Block, Anhui, China[J]. Mineral Deposits, 21(Supp.): 532 ~ 535 (in Chinese) .
- Zeng P S. 2002. Superimposition-reformation of metallogenic fluids and its relationship to large-superlarge copper-gold deposits in Tongling area, Anhui Province, China[R]. Postdoctorate research report. Beijing: Chinese Academy of Geological Sciences. 1 ~ 73 (in Chinese with English abstract) .
- Zhai Y S, Lin X D, Chi S C, et al. 1980. Discussion on metallogenic types and metallogenic series of endogenic deposits in the Middle-Lower Reach of the Yangtze River[J]. Geology & Exploration, (3): 9 ~ 14 (in Chinese) .
- Zhai Y S, et al. 1992. Metallogenic regularity of Fe-Cu(-Au) in the Middle-Lower Reach of the Yangtze River area[M]. Beijing: Geol. Publ. House (in Chinese with English abstract) .
- Zhai Y S, Xiong Y L, Yao S Z, et al. 1996. Metallogeny of copper and iron deposits in the Eastern Yangtze Craton, east-central China[J]. Ore Geol. Rev., 11: 229 ~ 248 .
- Zhang Q, Wang Y, Liu W, et al. 2002. Adakite: its characteristics and implications[J]. Geological Bulletin of China, 21(7): 431 ~ 435 (in Chinese with English abstract) .
- Zhang Z Q, Zhang G W, Tang S H, et al. 2002. Age of the Anzishan granulite from the Mai-Lue zone in Qinling area[J]. Bulletin of Science in China, 47(22): 1751 ~ 1755 (in Chinese) .
- Zhou X T, Li X M, Zhao J S, et al. 1987. Geochronology of igneous rocks from the Tongguanshan orefield, Tongling [J]. J. Chinese University of Science & Technology, 17(30): 403 ~ 413 (in Chinese) .
- Zhu G, Xu J W, Liu G S, et al. 1998. Tectonic control on development of foreland basin along the Yangtze River in the lower Yangtze Region[J]. Geological Review, 44(2): 120 ~ 129 (in Chinese with English abstract) .

附中文参考文献

- 常印佛等. 1965. 某区内生矿化作用的几个问题[J]. 中国地质, (2) .
- 常印佛, 刘学圭. 1983. 关于层控式砂卡岩型矿床——以安徽省内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, 吴言昌. 1991. 长江中下游铁铜成矿带[M]. 北京: 地质出版社 .
- 邓晋福等. 1992. 下扬子地区火山作用深部过程与盆地形成[M]. 武汉: 中国地质大学出版社 .
- 邓晋福. 1994. 中国东部新生代玄武岩及上地幔研究[J]. 地学前缘, 1(1 ~ 2): 194 .
- 邓晋福, 赵海玲, 莫宣学, 等. 1996. 中国大陆根-柱构造——大陆动力学的钥匙[M]. 北京: 地质出版社. 1 ~ 110 .
- 邓晋福, 莫宣学, 赵海玲, 等. 1999. 中国东部燕山期岩石圈-软流圈系统大灾变与成矿环境[J]. 矿床地质, 18(4): 309 ~ 315 .
- 邓晋福, 吴宗絮. 2001. 下扬子克拉通岩石圈减薄事件与长江中下游 Cu-Fe 成矿带[J]. 安徽地质, 11(2): 86 ~ 91 .
- 郭文魁. 1957. 论安徽铜官山铜矿成因[J]. 地质学报, 37(3): 317 ~ 332 .
- 郭宗山. 1957. 扬子江下游某些砂卡岩型铜矿床[J]. 地质学报, 37(1): 1 ~ 10 .
- 韩发, 赵汝松, 沈建中, 等. 1997. 大厂锡多金属矿床地质及成因

- [M]. 北京:地质出版社.
- 李石,王彤.1991.桐柏山-大别山花岗岩类地球化学[M].武汉:中国地质大学出版社.208页.
- 李进文.2004.铜陵矿集区矿田构造控矿与成矿化学动力学研究[D](博士论文).北京:中国地质科学院.导师:裴荣富.1~142.
- 李武显,周新民.1999.中国东南部晚中生代俯冲带探索[J].高校地质学报,5(2):164~169.
- 李武显,周新民.2001.古太平洋岩石圈消减与中国东南部晚中生代火成岩成因——岩石圈消减与玄武岩底侵相结合模式的补充证据[J].大地构造与成矿学,25(1):55~63.
- 毛健仁,苏郁香,陈三元,等.1990.长江中下游中酸性侵入岩与成矿[M].北京:地质出版社.
- 蒙义峰,侯增谦,杨竹森,等.2004.铜陵矿集区蚀变-流体填图与成矿流体系统[J].矿床地质,23(3):261~270.
- 莫宣学.1992.我国西部造山带火山岩研究中的—些问题[A].见:中国地质大学岩石教研室编,岩石学论文集[C].武汉:中国地质大学出版社.47~55.
- 邱检生,王德滋,周金城,曾家湖.1996.山东中生代橄榄安粗岩系火山岩的地质、地球化学特征及岩石成因[J].地球科学,21(5):546~552.
- 唐永成,吴言昌,储国正,等.1998.安徽沿江地区铜金多金属矿床地质[M].北京:地质出版社.351页.
- 万天丰.1995.郟庐断裂带的演化与古应力场[J].地球科学——中国地质大学学报,20(5):526~534.
- 王训诚,姜章平,蒙义峰,等.2002.铜陵地区构造流体体系初探[J].矿床地质,21(增刊):1045~1047.
- 王彦斌,刘敦一,蒙义峰,等.2004a.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(2):169~173.
- 王彦斌,刘敦一,曾普胜,等.2004c.铜陵地区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(4):(待刊).
- 王彦斌,刘敦一,曾普胜,等.2004b.安徽朝山砂卡岩型金矿床的辉石闪长岩锆石SHRIMP的U-Pb年龄及其地质意义[J].地球学报,25(4):(待刊).
- 王彦斌,唐索寒,王进辉,等.2004d.应用黄铁矿矿物Rb/Sr方法确定安徽铜陵新桥铜-硫-铁-金矿床的成矿时代——燕山期成矿作用的证据[J].地质学报,78(3):(待刊).
- 吴才来,陈松永,史仁灯,等.2003.铜陵中生代中酸性侵入体特征及成因[J].地球学报,24(1):41~48.
- 吴才来,周珣若,黄许成,等.1996.铜陵地区中酸性侵入岩年代学研究[J].岩石矿物学杂志,15(4):299~306.
- 吴言昌.1992.论岩浆砂卡岩——一种新类型砂卡岩[J].安徽地质,2(1):12~26.
- 肖建新,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),32(3):199~206.
- 谢家荣.1936.中国之矿产时代与矿产区域[J].地质论评,1(3):363~380.
- 曾普胜,裴荣富,侯增谦,等.2002.安徽铜陵地块沉积-喷流块状硫化物矿床[J].矿床地质,21(增刊):532~535.
- 曾普胜.2002.安徽铜陵地区成矿流体的叠加改造与大型-超大型铜金矿床的关系[R](博士后工作报告).北京:中国地质科学院.
- 张旗,王焰,刘伟,等.2002.埃达克岩的特征及其意义[J].地质通报,21(7):431~435.
- 翟裕生,林新多,池三川,等.1980.长江中下游内生矿床成因类型与成矿系列探讨[J].地质与勘探,(3):9~14.
- 翟裕生等.1992.长江中下游地区铁铜(金)成矿规律[M].北京:地质出版社.
- 张宗清,张国伟,唐索寒,等.2002.秦岭勉略带中安子山麻粒岩的年龄[J].科学通报,47(22):1751~1755.
- 周泰禧,李学明,赵俊深,等.1987.铜陵铜官山矿田火成岩的同位素地质年龄[J].中国科学技术大学学报,17(30):403~413.
- 朱光,徐嘉炜,刘国生,等.1998.下扬子地区沿江前陆盆地形成的构造控制[J].地质论评,44(2):120~129.

Temporal-spatial Configuration and Mineralization of Yanshanian Magmatic Fluid Systems in Tongling Ore Concentration Area, Anhui Province

Zeng Pusheng¹, Yang Zhusen¹, Meng Yifeng¹, Pei Rongfu¹, Wang Yanbin², Wang Xuncheng³,
Xu Wenyi¹, Tian Shihong¹ and Yao Xiaode³

(1 Institute of Mineral Resources, CAGS, Beijing 100037, China; 2 Institute of Geology, CAGS, Beijing 100037, China;

3 No.321 Geological Party, Anhui Bureau of Geology and Exploration, Tongling 244033, Anhui, China)

Abstract

Based on field investigation and isotopic chronology, in combination with the data available, the authors have established the spatial-temporal configuration of the magmatic fluid system and the relationship between the magmatic activity and the mineral resources in Tongling area. The Yanshanian magmatic fluid systems are closely related to the Cu-Au mineralization in Tongling area. It is shown by geofluid mapping that the Yanshanian magmatic systems in Tongling area can be divided into 2 classes covering 4 subsystems. The first class is the system related to the Yanshanian (150~133 Ma) intrusions and controlled by the E-W-striking fundamental faults,

which can be subdivided into three distinctive subsystems on the basis of time sequences and fluid system characteristics: (1) the early stage of the Shizishan skarn subsystem in 153 ~ 139 Ma, related to Cu-Au mineralization; and (2) the late stage of the Shatanjiao porphyry subsystem in 139 Ma ~ 133 Ma, related to Cu-Mo mineralization. The second class is the hydrothermal fluid system related to Late Yanshanian (120 ~ 110 Ma) Fanchang eruptive rocks in the south of the basin and controlled by the depression of the basin, which can be subdivided into two subsystems: (3) the Kedoushan hydrothermal subsystem in the south of the basin, related to (Fe)-Au mineralization in Fanchang, and (4) the Jiguanshi hydrothermal subsystem related to Au (Ag) in Tongling block, which is superimposed on the Tongling block beyond the basin. Among these 4 subsystems, the first 2 are the most important ones in Tongling area. On the basis of mineral parageneses and spatial distribution of the subsystems, each subsystem can be divided into several fluid units, which are the basic units for mapping of the fluids. Considering time configuration of the magmatic rocks, the high potassic calc-alkaline intrusions are petrogenetically attributed neither to the subduction of Yangtze plate beneath the North China plate during the Indosinian nor to the subduction of the Pacific plate underneath the Eurasian plate or geochemically to the adakites produced by thickening of the continental crust. It is held that the Yangtze plate on the east side of the Tancheng-Lujiang fault rotated clockwise with Guangji as the hinge under the tectonic regime of the northeastward tow of the Pacific plate during the Late Jurassic, which resulted in the NE extension of the lithosphere and the corresponding "lagged-type" magmatic activities. As the extension was limited during the early stage (153 ~ 139 Ma), it was unlikely to cause the thinning of the lithosphere but could lead to the surging of the magma from the potential source to form "lagged-type" magmatic rocks. The further extension during the late stage (121 ~ 110 Ma) might induce the catastrophic thinning of the lithosphere, resulting in the formation of a series of alkaline volcanic rocks in such areas as Fanchang basin. The relationship between magmatic rocks and mineral resources suggests that, besides independently forming ore deposits, magmatic activity could be superimposed on the Hercynian synsedimentary deposits or protore beds. In this way, materials such as copper and gold could be added to these deposits or beds so as to form high-grade and large-size stratabound deposits and eventually form world-famous large-superlarge "skarn-type" copper deposits in Tongling area.

Key words: geology, Yanshanian, magmatic fluid system, spatial-temporal configuration, genesis of magma, Tongling