

文章编号:0258-7106(2004)03-0261-10

# 铜陵矿集区蚀变-流体填图与成矿流体系统\*

蒙义峰<sup>1</sup> 侯增谦<sup>1</sup> 杨竹森<sup>1</sup> 曾普胜<sup>1</sup> 徐文艺<sup>1</sup> 田世洪<sup>1</sup>  
李红阳<sup>2</sup> 王训成<sup>3</sup> 姜章平<sup>3</sup> 姚孝德<sup>3</sup>

(1 中国地质科学院矿产资源研究所,北京 100037; 2 石家庄经济学院资源环境与工程系,河北 石家庄 050031;  
3 安徽省地勘局三二一地质队,安徽 铜陵 244033)

**摘要** 为了详细刻画和深刻理解区域流体系统,文章在传统的地质填图方法基础上,针对流体活动性状及其地质记录,提出了一套区域蚀变-流体填图方法程序,并在铜陵地区进行了示范性研究,取得了良好效果。这套“蚀变-流体填图”的方法明确了流体填图的填图对象,填图单位划分理论依据——流体同源性理论,制定了流体系统-流体子系统-流体单元三级填图单元划分方案。在铜陵地区建立了与成矿流体有关的4套流体系统,即海西期喷流沉积流体系统、燕山期岩浆流体系统、燕山晚期中低温流体系统和燕山晚期繁昌火山流体系统,并划分出7个流体子系统和18个流体单元。通过“蚀变-流体填图”掌握了铜陵矿集区成矿流体的空间分布规律,阐述了不同流体系统的成矿特征。

**关键词** 地质学 蚀变-流体填图 流体系统 空间展布 成矿特征 铜陵矿集区

**中国分类号**:P612

**文献标识码**:A

地壳尺度的流体研究近年来成为美国和欧洲的研究热点之一,对区域流体记录进行流体-蚀变填图已成为了解热液流体系统和指导矿产勘查的重要手段。目前国际通用的蚀变-流体填图方法主要有3种:①根据红外成像光谱(AVIRIS)特征对应的不同蚀变矿物组合进行填图,同时在野外进行检查,或使用便携式X射线衍射光谱计进行验证(Verdel et al., 2001; Farrand, 2000; Guinness et al., 2001; Crosta et al., 1998);②使用野外便携式短波红外光谱仪(SWIR)或便携式红外矿物分析仪(PI MA II)进行野外快速蚀变填图,结合野外地质观察、岩石描述和X射线衍射、地球化学、勘探分析数据、矿物学、矿物成分和晶体测量学等进行综合分析,指导矿产勘查(Tompson et al., 1999; Merry et al., 1999);③运用遥感JERS-1 OPS数据和高光谱遥感进行区域蚀变矿物(热液蚀变)填图,同时进行地表验证(Miyatake et al., 1997; 2000; Wendell et al., 2000; Tapia et al., 2000)。此外,人们也在尝试一些其他方法,如伽玛射线光谱测量和氧同位素等分析方法,进行区域蚀变晕填图(Huston et al., 1998)。这些方法技术为野外快速鉴定细粒蚀变矿物和评估蚀变矿物集合体分布提供了重要手段,但某些富有找矿标志性的岩石(如喷气岩、热液角砾岩、化学沉积岩等)和区域脉体系统的空间分布则难以在野外填定,多期次叠加的蚀变矿物集合体的时空关系也难以很好限定,成矿有关的热液蚀变与其他地质事件(变质事

件、区域构造热事件)引起的蚀变难以准确区分。

中国区域流体填图及流体系统的研究工作起步较晚,目前尚处于探索阶段。邓晋福等(2002)从区域流体系统的思想出发,依据火成岩组合和矿床组合标志,将铜陵Cu-Au(Ag)成矿区划分为1个岩浆-流体成矿系统和9个亚系统,并概略地识别出长江中下游铜铁成矿带8个岩浆-流体成矿系统;董方浏等(2001)、王勇等(2003)则在云南三江地区巍山-永平一带开展了以流体包裹体为主要手段的“流体填图”尝试,通过对喜马拉雅主成矿期的成矿流体系统的初步研究,发现不同成矿流体对矿床的产出有不同的控制作用;吕古贤等(1998)、郭涛等(1999)在山东玲珑-焦家式金矿和阜山金矿区进行了构造变形岩相填图、构造成矿及成矿流体构造物理化学特征研究。

为了详细刻画和深刻理解区域流体系统,笔者在传统的地质填图方法基础上,针对流体活动性状及其地质记录,设计了一套区域蚀变-流体填图方法程序(蒙义峰等, 2003),并在铜陵矿集区进行了示范性研究,取得了良好效果。

## 1 蚀变-流体填图方法与示范

### 1.1 蚀变-流体填图方法

蚀变-流体填图是运用地质科学的先进理论和技术,对一

\* 本文受国家地质调查局地质调查项目(200110000004)和国土资源部科技司专项研究计划(B0002-3)联合资助  
第一作者简介 蒙义峰,男,1961年生,博士,副研究员,从事矿床-流体地质研究工作。  
收稿日期 2003-09-02; 改回日期 2004-05-17。李岩编辑。

定区域内流体活动留下的记录进行系统的观察与研究,并将其真实地填绘于图面上,以阐明区域内流体记录的基本特征、相互关系和时空演化历史等,并应用流体示踪原理对流体的性质、成分、时代及活动机制进行研究的一种方法。

蚀变-流体填图的目的和实际意义是追踪流体系统的来源,研究流体系统活动的时间序列,建立填图区的流体系统结构,查清流体结构与成矿带的关系;厘定矿集区大规模构造-岩浆-流体-成矿体系中流体的来源-输导-汇聚系统及其时空演化规律,揭示流体活动与成矿物质巨量聚集的耦合关系,并探讨其与深部成矿源-运-储的关系,丰富和发展成矿理论;提取流体蚀变矿化所包含的深部地质和含矿信息,建立寻找深部隐伏矿的蚀变信息模型,开发用于探测深部地质特征、物质组成的流体、蚀变、地球化学等的理论及技术方法,通过预测流体子系统,预测区内隐伏、半隐伏矿床(体),为已知矿集区深部及外围找矿和成矿潜力评价提供理论依据和科学思路。

蚀变-流体填图着重实际资料的收集,适用于对各种流体(包括含矿、不含矿流体)的地质调查研究工作和任何地区。由于流体活动与成矿作用密切相关,所以流体地质调查研究工作目前首先在大型矿集区分布的地区开展。同传统区域地质填图方法相比,蚀变-流体填图方法不仅可以反映传统区调填图中的地层、构造和岩浆信息,而且还可以重点调查研究区域内不同时期流体地质作用的产物(流体记录),查明流体的性质、特征、成分、来源、时空分布和演化规律,为区域成矿和找矿研究提供流体地质学的基础资料。同传统流体地质研究相比,除具有流体地质研究的内容、方法和特点外,蚀变-流体填图还从区域大尺度的范围对流体活动的记录进行野外识别、提取、归并,确定其基本填图单元,具有可操作性和实用性。该方法克服了以往研究范围集中于点上(矿床)或局部地区的局限性,将研究视野拓展到区域面上,通过流体示踪和测年,建立区域流体活动的时空演化格架。

蚀变-流体填图对流体在表壳(地表)活动留下的记录进行系统的调查研究,作为一种区域流体地质调查研究方法,填图对象和填图单位划分是流体填图的基本要素,流体填图的填图对象是什么?如何对流体记录进行划分、归并,并建立野外可操作的基本填图单元,以及填图标志、图面表达方式和填图规范要求等都是值得探讨的问题。由于篇幅有限,仅以铜陵矿集区为例,对填图对象和填图单位划分作一简单介绍,其他可见参考文献(蒙义峰等,2003)。

## 1.2 矿集区蚀变-流体填图示范

### 1.2.1 铜陵示范区

蚀变-流体填图研究区位于安徽省南部,地处长江中下游南岸,包括铜陵市及其周围的南陵、繁昌、青阳县的部分地区,地理坐标东经 $117^{\circ}45' \sim 118^{\circ}15'$ ,北纬 $30^{\circ}42'30'' \sim 31^{\circ}00'00''$ ,面积约 $1\ 000\ \text{km}^2$ (见本期第272页图1)。

铜陵矿集区位于扬子准地台北东部的下扬子台褶带,经历了活动-稳定-再活动的地质发展史。前震旦纪为变质基底形成阶段。晋宁运动后进入盖层发育阶段,形成了巨厚的沉

积盖层,在区内出露有志留系和上泥盆统的碎屑岩、中石炭统-下三叠统的海相碳酸盐岩和硅质岩及海陆交互相的含煤碎屑岩(上二叠统龙潭组),期间受加里东和海西运动的影响,形成了 $S_3-D_3$ 、 $D_3-C_2$ 间及二叠系和下三叠统内多个平行不整合面,其中在中石炭统底部发育一层SEDEX型块状黄铁矿层。中三叠世开始,本区再次转为活动区。印支期受秦岭-大别陆陆碰撞造山带的影响(本区为造山带前陆盆地南东缘的相对隆起区),以挤压褶皱变形为特征,形成一系列NE向的不对称褶皱,奠定了区域盖层基本构造格局。燕山期以板内块断活动为主体,并伴随强烈的岩浆活动,早中期形成了近东西向展布的中酸性高碱富钾侵入岩带,晚期形成了北侧繁昌盆地的火山岩建造( $J_3-K_1$ )和南东侧宣(州)南(陵)盆地的红色陆相碎屑岩建造( $K_2$ )。区域性近东西向的铜陵-戴家汇和近南北向的新桥-木镇隐伏断裂是本区基底深断裂,不仅影响和控制着盖层褶皱和断裂的形成和发展,而且控制着燕山期中酸性侵入岩的展布,成为重要的导岩、控岩和导矿、控矿构造,控制着区内铜官山、狮子山、新桥等主要矿田(床)的分布(杨竹森等,2002;本期第272页图1)。

### 1.2.2 蚀变-流体填图对象

蚀变-流体填图的具体任务就是将不同时期的流体活动产物按一定的等级体制真实地填制于地质图面上,为成矿理论和找矿预测研究提供区域流体活动序列、活动机制等基础地质资料。因此,填图的主要对象就是流体活动的产物,即流体记录。铜陵矿集区流体活动遗留的地质记录主要有5种类型,即蚀变岩、充填脉体、隐爆角砾岩、热接触变质岩和化学沉积岩,各类流体记录所包含的详细内容及形态特征见表1。

### 1.2.3 蚀变-流体填图单位划分

流体既可沿裂隙流动充填,又可在岩石内扩散交代,还可在地表喷出沉积,其活动产物往往与被交代的原岩性质有关,同一来源的流体常具有多种类型的活动形式和复杂多变的产物,即同源流体可以具有不同类型和不同特征的流体记录。因此,根据流体演化同源性概念,可以对复杂的流体记录进行划分,确定填图内容,归并填图对象,建立填图单位。

以下是笔者制定出的蚀变-流体填图单位的三级等级体制,即流体系统-流体子系统-流体单元。

(1) 流体单元:是最小的流体填图单位,由一套具有相同流体来源、相似产出环境和同一时间演化特征的流体记录组成。根据流体记录的矿物成分和结构构造不同,可以在蚀变体(记录)内分出不同的相带;

(2) 流体子系统:为基本的流体填图单位,由多个在空间上紧密相关、在时间和流体来源上具有演化和亲缘关系的流体单元组成;

(3) 流体系统:为最高一级的流体填图单位,可包括一个或多个在特定的地质历史发展阶段形成的流体单元,且这些流体单元在成因上具有相似性或密切联系,在空间上分布于同一个构造单元或构造-岩浆岩带内。

表 1 安徽铜陵矿集区流体记录特征一览表

Table 1 Characteristics of fluid records in Tongling ore concentration area

流体记录	流 体 记 录 特 征
蚀变岩	
矽卡岩化	呈环带状分布于岩体接触带及周围,矿物组成:石榴石、透辉石、透闪石、阳起石,少量方解石、石英、绿帘石,局部富集磁铁矿、黄铜矿、黄铁矿
蛇纹石化	呈环带状和似层状分布于岩体接触带及周围,矿物组成:蛇纹石、滑石,少量磁铁矿、磁黄铁矿
钾化	呈细脉状和浸染状分布于岩体中,矿物组成:钾长石为主,少量石英、黄铜矿、辉钼矿,局部富集黑云母
硅化	浸染状、网脉状,矿物组成:石英,少量绢云母、方解石、黄铁矿
绢云母化	浸染状,矿物组成:绢云母,少量石英、方解石和黄铁矿
绿泥石化	浸染状、网脉状,矿物组成:绿泥石,少量石英、方解石和黄铁矿
高岭石化	带状分布,矿物组成:高岭石、迪开石,少量黄铁矿
叶蜡石化	似层状分布,矿物组成:叶蜡石、绢云母,少量黄铁矿
青磐岩化	面型分布于岩体中,矿物组成:方解石、绿泥石、石英、黝帘石,少量黄铁矿
充填脉体	
矽卡岩脉	脉状、透镜状,矿物组成:石榴石、透辉石
石英脉	脉状,矿物组成:石英,少量黄铁矿
硫化物脉	脉状、团块状,矿物组成:黄铁矿、方铅矿、闪锌矿,少量石英
碳酸盐脉	脉状,矿物组成:方解石、白云石,少量石英、方铅矿、闪锌矿
接触热变质岩	
大理岩化	分布于岩体周围,矿物组成:重结晶、方解石、白云石
角岩化	分布于岩体外接触带,矿物组成:红柱石、堇青石
隐爆角砾岩	
矽卡岩角砾岩	不规则筒状,矿物组成:胶结物以石榴石、透辉石为主,少量方解石、钾长石、绿帘石、黄铜矿
碳酸盐角砾岩	不规则筒状,矿物组成:胶结物以方解石为主,少量黄铁矿、石英和萤石
化学沉积岩	
块状硫化物	层状,矿物组成:黄铁矿、胶黄铁矿、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿,少量石英、碳酸盐
硅质岩	层状、透镜状,矿物组成:石英,少量黄铁矿、菱铁矿、菱锰矿
菱铁矿岩	层状、透镜状,矿物组成:菱铁矿,少量铁白云石、方解石、黄铁矿
硬石膏岩	似层状、透镜状,矿物组成:硬石膏,少量白云石
重晶石岩	透镜状,矿物组成:重晶石,少量菱铁矿、石英、黄铁矿
菱锰矿岩	层状、透镜状,矿物组成:菱锰矿,少量方解石

## 2 成矿流体系统划分及时空分布

铜陵矿集区自晋宁运动以来,经历了震旦纪-早三叠世的盖层发育阶段、中三叠世-中侏罗世碰撞造山前陆带的褶皱隆起阶段、晚侏罗世-早白垩世岩浆侵入与火山喷发阶段和晚白垩世-第三纪的陆相红色盆地发育阶段,有多期不同特征的流体活动,相应地遗留下了大量的地质记录,例如裂隙环境下的块状硫化物沉积,挤压环境下的局限盆地膏盐堆积和裂隙充填,挤压-拉张转换环境下的岩浆热液蚀变,以及伸展环境下的开放裂隙充填蚀变等等。通过对这些流体记录的详细研究,对于铜陵矿集区所发育的各类流体记录,依据其交代穿切关系、产出状态、矿物组合所反映的形成条件等,按照流体活动同源演化性质,初步划分出 4 套与成矿有关的流体系统,其中包括 7 个流体子系统(表 2)。

海西期喷流沉积流体系统 形成于晚石炭世-晚二叠世,以海底喷流-热水沉积为特征,在铜陵地区较为发育,并在长

江中下游一带广泛分布,包括 3 个子系统:①新桥子系统:发育于晚石炭世,以形成黄龙组底部的黄铁矿型块状硫化物层为特征,在新桥硫铁矿一带发育较典型,由喷流沉积单元和通道单元组成;②大通子系统:发育于早二叠世晚期,以形成孤峰组内的硅质岩及菱锰矿岩为特征,在大通锰矿一带较典型,由热水沉积单元和通道单元组成;③老鸦岭子系统:发育于晚二叠世晚期,以形成大隆组内的硅质岩及含钼硅质页岩为特征,在老鸦岭一带较典型,由热水沉积单元和通道单元组成。

燕山期岩浆流体系统 发育于晚侏罗世-早白垩世,与中酸性岩浆侵入活动密切相关,在铜陵断块内十分发育,是铜陵矿集区重要的成矿流体系统,包括 2 个流体子系统:①狮子山子系统:以发育多种类型的矽卡岩为特征,在狮子山矿田最典型,由浆矽卡岩单元、接触交代矽卡岩单元、层矽卡岩单元、热变质单元和热液单元组成;②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特征,主要发育于岩体内,局部使接触带附近的矽卡岩也受到蚀变交代,在沙滩脚矿区较典型,主要由蚀变单元组成。

表2 铜陵矿集区流体填图单元划分表

Table 2 Division of fluid mapping units in Tongling ore concentration area

流体系统、子系统及单元	流体记录特征	地质年代
<b>燕山晚期中低温热液流体系统</b>		
鸡冠石子系统		
充填单元	由石英-硫化物脉构成,硫化物中以黄铁矿为主,并有少量毒砂、黝铜矿等	早白垩世
蚀变单元	以硅化和高岭石化为主,并伴有浸染状黄铁矿化。硅化常靠近脉体一侧,宽度较小,而高岭石化远离脉体,宽度较大	早白垩世
<b>燕山晚期繁昌火山流体系统</b>		
蝌蚪山子系统	以中低温热液蚀变和脉体充填为特征的流体记录,包括火山岩系内沿断裂发育的硅化带和沿微裂隙发育的胶状黄铁矿细脉与蛋白石细脉等	早白垩世
<b>燕山期岩浆流体系统</b>		
沙滩脚子系统		
蚀变单元	主要见于岩体及其附近,由硅化、钾化、绢云母化和青磐岩化等蚀变岩组成,显示一定的分带性,中部以硅化和钾化为主,常伴有浸染状黄铜矿和辉钼矿化,向外渐变为绢云母化和青磐岩化	晚侏罗-早白垩世
狮子山子系统		
爆破角砾岩单元	由碳酸盐胶结的爆破角砾岩筒组成,分布于岩体的周围。这一流体单元主要见于凤凰山岩体周围,角砾成分以大理岩为主,并有矽卡岩、磁铁矿、黄铜矿、石英-黄铁矿和方铅矿、闪锌矿等角砾	
浆矽卡岩单元	由岩浆矽卡岩构成,以隐爆角砾岩筒、脉体和伟晶质团块等形式产于岩体接触带及附近的岩体岩体和地层内,由石榴石矽卡岩、透辉石矽卡岩及透辉石石榴石矽卡岩等组成	晚侏罗世
接触交代矽卡岩单元	产于岩体接触带内,由交代型矽卡岩和矽卡岩化岩石组成,矽卡岩的矿物成分复杂,可显示成分带,如石榴石带、透辉石带、硅灰石带等	晚侏罗世
层矽卡岩单元	产于岩体接触带的外侧,常距岩体较远,由保留层理构造或沿层间裂隙形成的条带状矽卡岩组成,矿物成分有石榴石、透辉石、透闪石等	晚侏罗世
接触变质单元	由岩体周围的地层经热变质形成的大理岩和角闪岩组成	晚侏罗世
热液单元	产于岩体接触带及附近,由浸染状黄铜矿、石英-黄铁矿脉及多金属硫化物、石英-方解石脉等组成,常叠加于各类矽卡岩单元之上	晚侏罗世
<b>海西期喷流沉积流体系统</b>		
老鸦岭子系统		
热水沉积单元	由大隆组内的化学沉积岩组成,包括层状展布的硅质岩及中上部所夹的含钼硅质页岩层	晚二叠世晚期
通道单元	不甚发育,主要见于下伏龙潭组煤系地层中,由硅质结核和细脉组成	晚二叠世晚期
大通子系统		
热水沉积单元	由孤峰组内的化学沉积岩组成,包括层状展布的硅质岩及底部所夹的菱锰矿岩层	早二叠世晚期
通道单元	发育程度较差,主要由栖霞组灰岩中发育的菱锰矿脉和交代生物碎屑灰岩的硅质条带组成	早二叠世晚期
新桥子系统		
喷流沉积单元	由黄龙组底部发育的化学沉积岩组成,包括以黄铁矿为主的块状硫化物层、铁碧玉岩、菱铁矿岩、重晶石岩、硬石膏岩等	晚石炭世早期
通道单元	由下伏上泥盆统-志留系碎屑岩中发育的蚀变体和充填脉体构成,蚀变体主要为大范围分布的硅化、绢云母化、叶蜡石化岩石以及不同规模的呈筒状分布的绿泥石化岩石,充填脉体主要为发育于蚀变体中的大量黄铁矿网脉、石英-黄铁矿脉和胶状黄铁矿结核	晚石炭世早期

燕山晚期繁昌火山流体系统 发育于晚侏罗世-早白垩世,与富碱中酸性火山喷发活动密切相关,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,仅划分出蝌蚪山子系统。在繁昌盆地南部的火山岩系中,发育以中低温热液蚀变和脉体充填为特征的流体记录,包括火山岩系内沿断裂发育的硅化带和沿微裂隙发育的胶状黄铁矿细脉与蛋白石细

脉等,以蝌蚪山东边最发育。在铜陵矿集区北部的三叠系及以前的地层中,该套流体系统主要表现为沿破火山机构的放射状及环状断裂充填的脉体记录,包括石英-镜铁矿脉、石英-黄铁矿-方铅矿-闪锌矿脉及方解石-方铅矿-闪锌矿脉等,并在局部地段形成以阳起石为主的蚀变岩带。

燕山晚期中低温热液流体系统 主要表现为沿开放的张



山、小铜官山—松树山、马山、余家涝、戴家冲、余家村、碎石岭、中徐、章木山等多个喷流沉积活动中心,形成与地层整合的似层状、长透镜状的黄铁矿型块状硫化物层,其中冬瓜山和小铜官山—松树山2个活动中心的流体活动规模和强度最大,形成的块状黄铁矿层厚20~40m,最厚可达100m(冬瓜山),长近1200m,宽达500m。该流体活动域的最大特点是在黄铁矿型块状硫化物层的下部发育一套纹层状的含硫化物蛇纹石岩层,显示喷流沉积处于水体相对宁静的环境。

新桥—半山李家流体活动域:呈近南北向展布,包括新桥—牛山、高架山、猪家山观音洞、水竹岭、亮石山、寨山、半山李家、茂工山等喷流沉积中心,形成上石炭统底部的似层状和长透镜状黄铁矿型块状硫化物层,以及上泥盆统—志留系碎屑岩中呈大面积分布的黄铁矿细网脉和顺层硅化、绢云母化、叶蜡石化等蚀变产物。其中以新桥—牛山和高架山两个活动中心的规模和强度最大,形成的块状黄铁矿层长达2600m,宽约1800m,厚20~40m。该流体活动域的最大特点是喷流沉积单元中常发育黄铁矿角砾被黄铁矿再胶结的角砾状构造黄铁矿层,并在喷流沉积单元的上部发育角砾状白云岩(如水竹岭)或含砾白云岩(如观音洞),显示斜坡带垮塌堆积的形成环境。

五峰山—峙门口流体活动域:呈近南北向展布,包括五峰山、蛤蟆岭、店门口、峙门口等流体活动中心,形成黄龙组底部呈透镜状展布的黄铁矿型块状硫化物层,并在志留系—上泥盆统中形成大面积的层状硅化、绢云母化蚀变和石英—硫化物脉。该流体活动域的特点是在块状硫化物层的下部发育一层厚1~3m的灰黑色粉砂质粘土岩,并在硫化物层中发育较多的重晶石。

桃园—戴公山流体活动域:呈近东西向展布,包括桃园、笠帽顶、牡丹山、戴公山、虾蟆塘等活动中心,形成黄龙组底部透镜状黄铁矿型块状硫化物层和硅质岩层,并在上泥盆统中形成层状硅化和绢云母化蚀变。该流体活动域的特点是喷流沉积单元中层状硅质岩较发育而块状硫化物层的发育规模较小,并在硫化物层中发育有较多的重晶石。

新桥喷流沉积子系统分布于受近东西向和近南北向基底断裂控制的“丁”字形陷盆地中,呈近东西向展布的铜官山—冬瓜山和桃园—戴公山流体活动域受控于近东西向的铜陵—戴家汇基底断裂,而近南北向展布的新桥—半山李家流体活动域主要受近南北向的顺安—木镇基底断裂控制,五峰山—峙门口流体活动域夹持于近南北向的铜陵—童埠和狮子山—天屏山两条基底断裂之间。各流体活动域中的喷流沉积中心受盖层中的同生断裂控制,流体活动规模和强度较大的喷流沉积中心(如小铜官山—松树山、冬瓜山和新桥—牛山)均位于与近东西向和近南北向两组基底断裂交汇部位相对应的范围内。在各喷流沉积中心处堆积席状或丘状块状硫化物层及透镜状硬石膏、菱铁矿、重晶石和铁碧玉岩、硅质岩,向外围块状硫化物层等逐渐减薄尖灭,远离喷流中心仅形成一层很薄的含锰粉砂质粘土岩。由各流体活动域喷流沉积的

堆积特征,可判断铜官山—冬瓜山流体活动域位于水体较深的盆地中心部位,新桥—半山李家流体活动域处于盆地东南侧的斜坡地带,桃园—戴公山流体活动域分布在盆地东延部分的水体较浅部位,而五峰山—峙门口流体活动域位于盆地向南延伸的槽状地带。

### 3.1.2 大通热水沉积子系统

大通热水沉积子系统包括相对发育的热水沉积单元和发育较差的通道单元,热水沉积单元形成下二叠统上部的孤峰组硅质岩及所夹的菱锰矿岩,硅质岩呈稳定的层状广布于铜陵矿集区,但其厚度及产出环境在西部和东部略有不同。青阳山—牛山一带发育的硅质岩层厚达192m,向东和向西分别减薄至30m和50m。青阳山—牛山一线以东除发育硅质岩层外,其上部被厚约200m的生物碎屑灰岩所覆盖,而该线以西仅发育硅质岩层,并在下部夹一层厚0.5~1.28m的菱锰矿层。上述特征显示热水活动主要受近南北向的顺安—木镇基底断裂控制,沿该断裂形成青阳山—牛山一带较厚的硅质岩沉积,同时使西部始终处于沉降盆地环境,而东部则由盆地逐步演变为碳酸盐岩台地环境。

### 3.1.3 老鸦岭热水沉积子系统

老鸦岭热水沉积子系统主要由热水沉积单元构成,通道单元发育较差。热水沉积单元形成上二叠统上部的大隆组硅质岩及所夹的含钼硅质页岩,它们呈稳定的层状广布于铜陵矿集区。该套硅质岩同样在青阳山—牛山一带厚度较大,可达50余米,向东西两侧减薄至20余米,显示出顺安—木镇基底断裂对热水活动的控制作用。

## 3.2 燕山期岩浆流体系统

铜陵矿集区在燕山中晚期发生大规模的岩浆侵入活动,由此引发了一套岩浆热源驱动的以岩浆期后热液占主导的流体系统。与岩浆活动的不同阶段相对应,该套流体系统包括早期的狮子山子系统和晚期的沙滩脚子系统(图1)。

### 3.2.1 狮子山子系统

狮子山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浆砂卡岩、层砂卡岩及接触交代砂卡岩、接触变质岩等流体记录,围绕岩体呈环带式分布。相邻的多个岩体构成一个相对独立的流体活动域,在矿集区范围内发育有铜官山、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,其中以铜官山和狮子山2个流体活动域规模较大,而以狮子山流体活动域最典型。

狮子山流体活动域位于青山背斜北东端,分布有狮子山、大团山、老鸦岭、胡村、乌栗山、鸡冠山、白芒山、包村、龙塘湖、龟山、小金山、笠帽山等小侵入体。各岩体之间的碳酸盐地层受岩浆释放的热能作用发生大理岩化,构成一个规模巨大的半环形接触热变质晕圈,沿青山背斜北东向展布。在各岩体的接触带部位,有块状的接触交代砂卡岩围绕岩体断续分布,并有条带状层砂卡岩在接触带外侧的下三叠统和龙山组

层中呈面型分布。在东狮子山一带,产出有北东向展布的矽卡岩角砾岩筒,系岩浆演化产生的矽卡岩稀岩发生隐爆侵位所形成。上列流体记录的分布特征显示,该流体活动域受岩浆侵位产生的大范围热异常的驱动,以岩浆期后热液为主导的流体沿岩体接触带和构造薄弱部位活动,构成一个枝叉状的流体活动网络,推测向深部逐步合并到同一个岩浆房。

其他流体活动域与狮子山流体活动域相似,均表现为在大范围接触变质晕圈内于岩体接触带部位点级矽卡岩等流体记录,主要呈北东向分布。纵观各流体活动域的空间展布形式,显示受基底断裂和盖层构造联合控制的特征。近东西向的铜陵—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)呈东西向带状展布,且大部分流体活动域位于与近南北向基底断裂交汇部位。北东-南西向的盖层褶皱控制着单个流体活动域呈北东向产出,并使部分流体活动域呈北东-南西向排列,如狮子山、焦冲、严冲、五贵桥流体活动域沿青山背斜呈北东-南西向串珠状分布。因此,近东西向基底断裂控制流体深部上升的通道,北东-南西向的盖层背斜控制流体浅部活动范围。

### 3.2.2 沙滩脚子系统

沙滩脚子系统包括硅化、钾化、绢云母化、青磐岩化蚀变岩和碳酸盐胶结的隐爆角砾岩筒等流体记录,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、凤凰山、冬瓜山、金口岭、枣树岭等地。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,呈近南北向展布于沙滩脚—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;凤凰山一带主要分布于凤凰山岩体的西南侧,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;冬瓜山一带主要见于深部的岩体及周围五通组砂岩中,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。

### 3.3 燕山晚期繁昌火山流体系统

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,可分为蝌蚪山和叶山两个流体活动域。

蝌蚪山流体活动域:分布于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,呈半环状围绕蝌蚪山火山口展布。羊殖场一带表现为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—八分村一带表现为中三叠

统铜头尖组碎屑岩和上侏罗统中分村组流纹岩的面型硅化,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。

叶山流体活动域:分布于铜陵矿集区东北部的叶山—小涝一带,以沿狮子山破火山机构的放射状和环状断裂充填为特征。叶山—小涝一线位于五通组与黄龙组层间裂隙的放射状断裂上,在叶山—叶山工区段主要形成黑色阳起石岩、块状镜铁矿及石英-镜铁矿脉和团块,而在小涝一带表现为石英-镜铁矿脉交代穿切早期的块状黄铁矿,显示强氧化性质的火山流体对海西期喷流沉积黄铁矿层的叠加改造,且自东向西改造程度逐渐减弱。叶山工区—独山和金银山—小涝均位于北北西向的环状断裂上,沿断裂发育阳起石岩和石英-镜铁矿脉,后期形成方解石-方铅矿-闪锌矿脉和团块,显示早期氧化性质向后期还原性质的转变。因此,叶山流体活动域为火山活动早中期的中高温氧化热液-中低温还原热液的活动场所,主要分布于下部层位的盖层沉积岩系中。

### 3.4 燕山晚期中低温热液流体系统

燕山晚期中低温热液流体系统主要分布在矿集区中西部的潘冲—棋子冲、鸡冠石、包村及马山等地,沿近南北向和近东西向断裂分布。在潘冲—棋子冲一带,多条近南北向张性断裂穿切燕山晚期的花岗斑岩脉,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蚀变。在鸡冠石一带,沿穿切岩体的东西向断裂充填石英-多金属硫化物脉,并使两侧的闪长岩发生硅化和高岭石化蚀变。在包村一带,近南北向张性断裂切割包村岩体及接触带部位的矽卡岩带,沿断裂充填石英-黄铁矿脉、含硫酸石英脉和胶状黄铁矿脉,并发生弱的绿泥石化蚀变。在马山一带,近南北向张性断裂切穿天马山岩体及接触带的矽卡岩带,并被石英-黄铁矿脉、方解石-石英-多金属硫化物脉充填,脉侧产生绿泥石化和碳酸盐化蚀变。因此,燕山晚期中低温热液流体系统主要表现为沿近南北向和近东西向张性断裂的充填,空间上呈线状展布。

## 4 流体系统成矿特征

铜陵矿集区不同时期的流体系统具有不同的成矿特征(表 3)。

海西期喷流沉积流体系统主要形成与地层整合的层状矿床,包括新桥子系统的含铜金黄铁矿型块状硫化物矿床、大通子系统的层状锰矿床和老鸦岭子系统的层状钼矿床。燕山期岩浆流体系统形成岩体接触带及附近的矽卡岩型铜金矿床和斑岩型铜钼矿床,并在远离岩体的围岩中形成脉状铅锌矿点。燕山晚期繁昌火山流体系统形成镜铁矿型铁矿床和脉状铅锌矿床,并在火山岩层中形成黄铁矿矿化点。燕山晚期中低温热液流体系统主要形成沿断裂充填的脉状金银矿床。此外,不同流体系统间存在叠加改造成矿作用,如燕山期岩浆流体

表3 铜陵矿集区流体系统成矿特征表

Table 3 Metallogenic characteristics of the fluid system in Tongling ore concentration area

流体系统	矿床类型	产出特征	矿床(点)
燕山晚期中低温热液流体系统	Au、Ag 矿床	沿断裂脉状产出	鸡冠石、包村、龙塘湖、马山、潘冲(矿点)
燕山晚期繁昌火山流体系统	镜铁矿型 Fe 矿床 Pb、Zn 矿床 黄铁矿型 S 矿点	沿层间似层状产出 沿断裂脉状产出 沿裂隙网脉状产出	叶山、叶山工区、小涝 独山、小涝、狮峰村 羊猪场
燕山期岩浆流体系统			
沙滩脚子系统	斑岩型 Cu、Mo 矿床	点状分布于岩体内	沙滩脚、塌里牧、冬瓜山深部
狮子山子系统	矽卡岩型 Cu 矿床	围绕岩体分布	东狮子山、西狮子山、花树坡、大团山、老鸦岭、胡村、小铜官山、老庙基山、老山、宝山、金口岭、笔山、铜山涝、龙池井
	矽卡岩型 Au 矿床 Pb、Zn 矿点	围绕岩体分布 脉状分布于岩体外侧	朝山、小金山、鸡冠山、焦冲 胡村南、老坟山、笋山、严冲南
海西期喷流沉积流体系统			
老鸦岭子系统	Mo 矿床	层状与地层整合产出	老鸦岭
大通子系统	Mn 矿床	层状与地层整合产出	大通
新桥子系统	含 Cu、Au 块状黄铁矿矿床(地表为铁帽型金矿)	层状与地层整合产出	新桥—牛山、高架山、水竹岭、亮石山、半山李家、峙门口、店门口、五峰山、冬瓜山、马山、松树山、黄狮涝、碎石岭、中徐、章木山、戴家冲、桃园、观音洞、虾蟆塘、戴公山

系统对海西期喷流沉积流体系统的叠加改造形成冬瓜山、马山等叠加改造型铜矿床,燕山晚期繁昌火山流体系统对海西期喷流沉积流体系统的叠加改造形成叶山—小涝一带的镜铁矿型铁矿床。从成矿的规模看,海西期喷流沉积流体系统和燕山期岩浆流体系统是矿集区内两套重要的成矿流体系统,形成区内主要的大中型矿床,并显示出区域分带性。海西期喷流沉积流体系统形成的黄铁矿型块状硫化物矿床,分布于近东西向的铜陵—戴家汇和童埠—木镇基底断裂附近者含铜较高,分布于两基底断裂之间者含铅锌较高。燕山期岩浆流体系统在各流体活动域中部形成矽卡岩型铜矿床,向外形成矽卡岩型金矿床,再向外到大理岩化晕圈外侧产出脉状铅锌矿床(点),这在狮子山流体活动域最明显。此外,自狮子山→焦冲→严冲,各流体活动域的主要矿种由 Cu、Au→Au、Pb、Zn→Pb、Zn 变化,同样显示靠近近东西向的铜陵—戴家汇基底断裂处铜成矿比例高,远离基底断裂处铅锌成矿比例高。

## 5 讨论与结论

综合上述可见,该蚀变-流体填图,着重于实际资料的收集,同传统区域地质填图方法相比,蚀变-流体填图方法不仅反映了传统区调填图中的地层、构造和岩浆信息,而且重点调查了研究区域不同时期流体地质作用的产物(流体记录),查明流体的性质、特征、成分、来源、时空分布和演化规律,为区域成矿和找矿研究提供了流体地质学的基础资料。同传统流体地质研究相比,除具有流体地质研究的内容、方法和特点外,蚀变-流体填图从区域大尺度的范围对流体活动的记录进行野外识别、提取、归并,确定其基本填图单元,具有可操作性和实用性。该方法克服了以往研究范围集中于点上(矿床)或局部地区的局限性,将研究视野拓展到区域面上,通过流体示

踪和测年,建立区域流体活动的空间演化格架。

这套“蚀变-流体填图”的方法,明确了流体填图的填图对象,填图单位划分理论依据——流体同源性理论,制定了流体系统-流体子系统-流体单元三级填图单元划分方案;在铜陵矿集区建立了与成矿流体有关的4套流体系统,即海西期喷流沉积流体系统、燕山期岩浆流体系统、燕山期中低温流体系统和燕山晚期繁昌火山流体系统,划分出7个流体子系统;通过“蚀变-流体填图”掌握了铜陵矿集区成矿流体的空间分布规律,阐述了不同流体系统的成矿特征。

**致谢** 衷心感谢常印佛院士、裴荣富院士、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;野外调研期间得到安徽省地勘局储国正博士、孙军高级工程师等的大力支持和帮助;三二一地质队牟立品队长、许发有总工和地调所周育才高工、郭祥焱高工等的支持;各矿山的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副部长、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,在此深表谢意。

## References

- Crosta A, Sabine C and Taranik J V. 1998. Hydrothermal alteration mapping at Bodie, California, using AVIRIS hyperspectral data[J]. *Remote Sensing of Environment*, 65(3): 309~319.
- Deng J F, Dai S Q, Zhao H L, et al. 2002. Recognition of magmatic fluid-metallogenic systems and subsystems in Tongling Cu-Au(Ag)-ore-forming area[J]. *Mineral Deposits*, 21(4): 317~322 (in Chinese).

- nese with English abstract) .
- Dong F L , Mo X X , Wang Y , et al . 2001 . The important developments on mineralized-fluids geological mapping of Weishan-Yongping , Yunnan[ J ] . *Earth Science Frontiers* , 8( 3 ) : 52 ( in Chinese with English abstract ) .
- Farrand W H . 2000 . Mapping alteration mineralogy in the Tushar Mountains and Marysvale mining district , Utah using AVIRIS data [ A ] . Proceedings of the fourteenth international conference on applied geologic remote sensing[ C ] . Las Vegas , NV , United States . Nov . 6-8 , 2000 . 62 ~ 69 .
- Forster C B and Evans J P . 1991 . Impact of a permeable thrust fault on thermal and hydrologic regimes : Regional-scale numerical modeling results[ J ] . *Geophysical Research Letters* , 18 : 979 ~ 982 .
- Guinness E A , Arvidson R E , Jolliff B L , et al . 2001 . Mapping alteration minerals exposed on the summit of Mauna Kea volcano using AVIRIS data ; implications for mapping Mars mineralogy[ A ] . Abstracts of papers submitted to the lunar and planetary science Conference[ C ] . abstr . no . 1659 .
- Guo T and Lu G X . 1999 . Mapping of tectono-deformation-facies and research of tectono-physicochemistry characteristics of ore fluid for Fushan gold deposit[ J ] . *Contributions to Geology and Mineral Resources Research* , 14( 3 ) : 50 ~ 56 ( in Chinese with English abstract ) .
- Huston D L , Brauhart C W , Wellman P , et al . 1998 . Gamma-ray spectrometric and oxygen-isotope mapping of regional alteration halos in massive sulphide districts : an example from Panorama , central Pilbara Craton ; Part I , Remote alteration mapping by gamma-ray spectrometry ; Part II , Alteration mapping by oxygen isotopes[ J ] . *AGSO Research Newsletter* , 29 : 14 ~ 16 .
- Lu G X , Deng J , Guo T , et al . 1998 . Large-scale geological mapping of tectono-deformation-facies features and research of tectonic metallogenesis for the Linglong-Jiaojia type gold deposits[ J ] . *Acta Geoscientia Sinica* , 19( 2 ) : 177 ~ 186 ( in Chinese English abstract ) .
- Meng Y F , Hou Z Q , Yang Z , et al . 2003 . Discussion of the alteration-fluid mapping method in Tongling region , Anhui Province[ J ] . *Earth Science Frontiers* , 10( 1 ) : 105 ~ 110 ( in Chinese with English abstract ) .
- Merry N and Pontual S . 1999 . Rapid alteration mapping using field portable infrared spectrometers[ A ] . Publication Series - Australasian Institute of Mining and Metallurgy . 4-99[ C ] . 693 ~ 698 .
- Miyatake S , Sanga T , Hayashi T , et al . 2000 . Regional alteration mapping with JERS-1 OPS data , La Rioja and San Juan Province , Argentine Republic[ A ] . Proceedings of the international conference on applied geologic remote sensing , 14[ C ] . 385 ~ 394 .
- Miyataki S and Lee K . 1997 . Mapping alteration minerals in northern Cuprite and Goldfield , Nevada , with JERS-1 OPS data[ A ] . Proceedings of the thematic conference on geologic remote sensing , 14 , 2[ C ] . 473 ~ 484 .
- Tapia C H , Crosta A P , et al . 2000 . Hydrothermal alteration mapping at the Quellaveco porphyry-copper deposit , southern Peru ; implications for regional exploration using remote sensing[ A ] . Proceedings of the international conference on applied geologic remote sensing , 14[ C ] . 169 ~ 176 .
- Thompson A J B , Hauff P L and Robitaille J A . 1999 . Alteration mapping in exploration ; application of short-wave infrared ( SWIR ) spectroscopy[ J ] . *SEG Newsletter* , 39 : 1 , 16 ~ 27 .
- Verdel C S , Knepper D J , Livo K E , et al . 2001 . Mapping minerals at the Copper Flat porphyry , New Mexico , using AVIRIS data[ A ] . JPL Publication[ C ] . California Institute of Technology , Jet Propulsion Laboratory . Pasadena , CA , United States . 427 ~ 433 .
- Wang Y , Mo X X , Dong F L , et al . 2003 . Fluid-geological mapping in the Weishan-Yongping mineralization district , Yunnan—theory and practice[ J ] . *Geology in China* , 30( 1 ) : 73 ~ 83 ( in Chinese with English abstract ) .
- Wendell P and Nusbaum R . 2000 . Hydrothermal alteration mapping and ground-truthing using hyperspectral data , Virginia City , Nevada[ A ] . Proceedings of the fourteenth international conference on applied geologic remote sensing , 14[ C ] . Las Vegas , NV , United States . Nov . 6-8 , 2000 . 200 ~ 205 .

#### 附中文参考文献

- 邓晋福 , 戴圣潜 , 赵海玲 , 等 . 2002 . 铜陵 Cu-Au(Ag) 成矿区岩浆-流体-成矿系统和亚系统的识别[ J ] . *矿床地质* , 21( 4 ) : 317 ~ 322 .
- 董方浏 , 莫宣学 , 王 勇 , 等 . 2001 . 云南省巍山-永平矿集区成矿流体地质填图试验的重要进展[ J ] . *地学前缘* , 8( 3 ) : 52 .
- 郭 涛 , 吕古贤 . 1999 . 阜山金矿区构造变形岩相填图与成矿流体构造物理化学特征研究[ J ] . *地质找矿论丛* , 14( 3 ) : 50 ~ 56 .
- 国家辉 . 1998 . 滩间山金龙沟金矿区找矿矿物学填图应用效果[ J ] . *贵金属地质* , 7( 4 ) : 258 ~ 268 .
- 吕古贤 , 邓 军 , 郭 涛 , 等 . 1998 . 玲珑-焦家式金矿构造变形岩相形迹大比例尺填图与构造成矿研究[ J ] . *地球学报* , 19( 2 ) : 177 ~ 186 .
- 蒙义峰 , 侯增谦 , 杨竹森 , 等 . 2003 . 安徽铜陵地区蚀变-流体填图方法的探讨[ J ] . *地学前缘* , 10( 1 ) : 105 ~ 110 .
- 王 勇 , 莫宣学 , 董方浏 , 等 . 2003 . 云南巍山-永平矿集区流体地质填图的理论与实践[ J ] . *中国地质* , 30( 1 ) : 73 ~ 83 .

## Alteration-Fluid Mapping and Metallogenic Fluid System of Tongling Ore Concentration Area

Meng Yifeng<sup>1</sup>, Hou Zengqian<sup>1</sup>, Yang Zhusen<sup>1</sup>, Zeng Pusheng<sup>1</sup>, Xu Wenyi<sup>1</sup>, Tian Shihong<sup>1</sup>,  
Li Hongyang<sup>2</sup>, Wang Xuncheng<sup>3</sup>, Jiang Zhangping<sup>3</sup> and Yao Xiaode<sup>3</sup>

(1. Institute of Mineral Resources, CAGS, Beijing 100037, China; 2. Department of Resources, Environment and Engineering, Shijiazhuang University of Economics, Shijiazhuang 050031, Hebei, China; 3. No.321 Geological Party, Anhui Bureau of Geology and Exploration, Tongling 244033, Anhui, China)

### Abstract

In order to describe in detail and understand comprehensively regional fluid systems, the authors, in accord with fluid activities and their geological records and on the basis of the traditional geological mapping method, have advanced a set of procedures for large-scale alteration-fluid mapping. A tentative study in Tongling area has achieved good results: the mapping objects are determined, the theoretical basis (isogenetic evolution of fluid activity) for the division of units in alteration-fluid mapping is established, and the scheme of three-grade mapping unit systems, i.e., fluid system-daughter fluid system-fluid unit, is worked out. Four fluid systems related to ore-forming fluids in Tongling ore concentration area is established, namely, Hercynian exhalation-sedimentary fluid system, Yanshanian igneous fluid system, Late Yanshanian low-to-moderate temperature (epithermal) fluid system and Late Yanshanian volcanic fluid system. In addition, seven daughter fluid systems and eighteen fluid units are determined. Through alteration-fluid mapping, the spatial-temporal distribution of ore-forming fluids in the study area can be understood, the temporal series and framework of the fluid system can be established, and the ore-forming features of different fluid systems can be explained.

**Key words:** geology, alteration-fluid mapping, fluid system division, spatial-temporal distribution, temporal series, metallogenic feature, Tongling ore concentration area

<http://www.kcdz.ac.cn/>