

文章编号:0258-7106(2004)03-0271-10

铜陵矿集区成矿流体系统时限的初步厘定*

蒙义峰¹ 杨竹森¹ 曾普胜¹ 徐文艺¹ 王训成²

(1 中国地质科学院矿产资源研究所,北京 100037; 2 安徽省地勘局三二一地质队,安徽 铜陵 244033)

摘要 文章在铜陵矿集区成矿流体系统划分的基础上,对其中部分流体系统的流体记录采集了13件样品,分别用 Re-Os 法(辉钼矿、黄铁矿)、Ar-Ar 和 K-Ar 法(锆云母、闪长岩等)进行了同位素年龄精确测定,结合野外对不同流体记录的产出层位、切割交叉关系的研究,厘定了铜陵矿集区4套流体系统的时限。初步界定了矿集区部分流体系统的时间界限,为流体系统的划分和成矿流体的研究提供了重要的基础。

关键词 地质学 流体系统 时限 初步厘定 铜陵矿集区

中图分类号: P597+.3

文献标识码: A

精确测定区域流体系统的年龄与时限,正确厘定区域流体系统的类型与边界,是查明流体系统时空演化、研究流体迁移-汇聚机制、揭示流体活动与成矿物质巨量聚集的耦合关系,并进而建立流体蚀变矿化四维模型的关键。在铜陵矿集区,“蚀变-流体填图”项目按照新设计的填图方法,初步识别和划分出4套成矿流体系统(蒙义峰等,2004)。这4套成矿流体系统不仅有比较清楚的活动边界和易于识别的标志产物,而且具有不同的蚀变矿物组合和清楚的穿插交切关系(蒙义峰等,2004)。为了进一步厘定不同流体系统的形成年龄和发育时限,建立流体系统的时间序列和年代格架,本文对铜陵矿集区的不同流体系统的流体记录进行了系统的研究,建立了矿集区流体系统的时间序列和格架。

1 地质背景及流体系统野外识别标志

1.1 地质背景

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的含煤碎屑岩(上二叠统龙潭组),期间受加里东运动和海西运动

的影响,形成了 S₃-D₃、D₃-C₂ 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,奠定了区域盖层的基本构造格局。燕山期以板内断块活动为主体,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(J₃-K₁)和南东侧宣(州)南(陵)盆地的红色陆相碎屑岩建造(K₂)。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)(图1)。

流体活动与区域构造地质演化密切相关,铜陵矿集区自晋宁运动之后,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—早白垩世岩浆侵入和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,发育了多期不同特征的流体活动,相应地遗留下大量的地质记录,例如裂陷环境下的块

* 本文得到国土资源部科技司专项研究计划(B0002-3)和国家地质调查局地质调查项目(200110000004)的联合资助

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 2003-11-03; 改回日期 2004-05-17。李岩编辑。

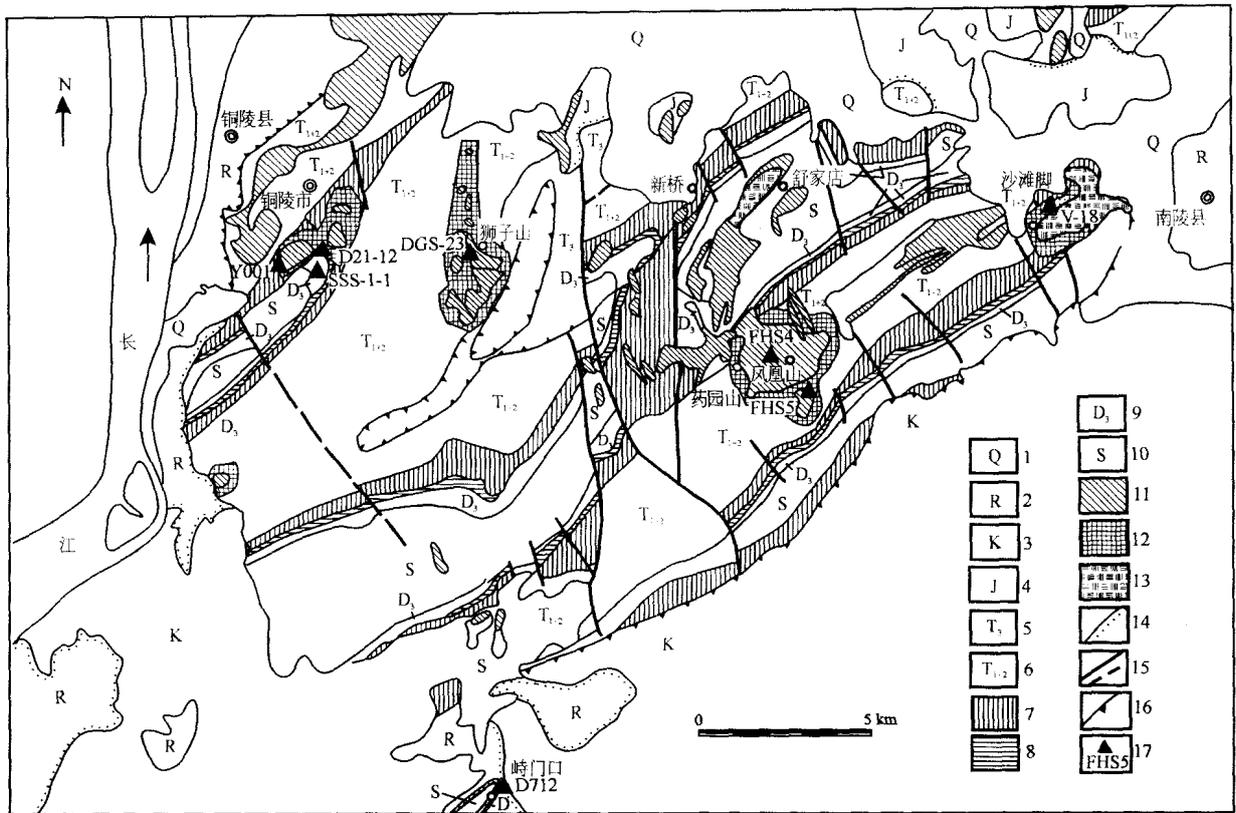


图1 铜陵矿集区地质简图及取样位置

1—第四系;2—第三系砂砾岩;3—白垩系砂岩、砾岩;4—侏罗系砂岩、火成岩;5—上三叠统砂岩、页岩;6—中下三叠统灰岩、白云岩;
7—二叠系灰岩、硅质岩、页岩;8—石炭系页岩、灰岩;9—上泥盆统砂岩;10—志留系砂岩、页岩;11—中酸性岩体;12—大理岩化带;
13—斑岩铜矿化岩体;14—不整合界线;15—实测及推测断层;16—断层拗陷;17—取样位置及样号

Fig.1 Sketch geological map of Tongling mineralization concentration area, showing sampling locations

1—Quaternary;2—Tertiary sandy conglomerate;3—Cretaceous sandstone and conglomerate;4—Jurassic sandstone and igneous rock;5—Upper Triassic sandstone and shale;6—Middle-Lower Triassic limestone and dolomite;7—Permian limestone, silicalite and shale;8—Carboniferous shale and limestone;9—Upper Devonian sandstone;10—Silurian sandstone and shale;11—Intermediate-acid rock;12—Marbleized zone;13—Porphyry copper mineralization body;14—Unconformity;15—Measured and inferred faults;16—Fault depression;17—Sampling location

状硫化物沉积,挤压-拉伸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。

1.2 流体系统野外识别标志

不同的流体系统应当有特定的蚀变-流体记录组合(如蚀变岩、接触热变质岩、充填脉体、隐爆角砾岩和化学沉积岩等),具有明显的识别标志(如蚀变-流体记录的颜色、成分、矿物组合、结构构造、产出状态、穿插切割关系、区域变质特征,或者具有特定的地貌标志或航卫片解译标志等。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、矿物组合及反映的形成条件等,按照流体活动同源演化性质,通过对这些流体记录的详细研究,划分出4套与成矿相关的流体系统,包括7个子系统,即海西期喷流沉积流体系统:新桥子系统、大同子系统

和老鸦岭子系统;燕山期岩浆流体系统:狮子山子系统和沙滩脚子系统;燕山晚期繁昌盆地火山流体系统:蝌蚪山子系统;燕山晚期中低温热液流体系统:鸡冠石子系统(蒙义峰等,2003;2004),其基本特征和识别标志如下(表1):

1.2.1 海西期喷流沉积流体系统

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,因此又可称为下扬子流体系统或长江中下游流体系统。这一流体系统包括3个子系统。

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,因在新桥硫铁矿一带发育较典型而命名,包括喷流沉积单元和

表 1 铜陵矿集区成矿流体系统野外划分标志

Table 1 Field division indicators of the mineralizing fluid systems in Tongling ore concentration area

流体系统	产出环境	流体活动时间	结构构造	蚀变类型	矿物组合	矿床(点)实例	流体单元
喷流沉积流体系统	黄龙组/五通组, 栖霞组, 孤峰组, 大隆组	海西期	块状、层状、似层状、条纹条带状、同生角砾岩状等	黄铁矿化、硅化、绢云母化、绿泥石化、叶腊石化等	黄铁矿、胶黄铁矿、黄铜矿、辉铜矿、闪锌矿、重晶石、石膏、菱铁矿、菱锰矿、含炭质粘土、硅质岩等	新桥、桃园、峙门口、水竹岭	化学沉积单元、通道单元
岩浆流体系统	与燕山期侵入岩活动有关	燕山期	块状、条带状、浸染状、充填交代、隐爆角砾岩等	矽卡岩化、大理岩化、角岩化、蛇纹石化、黄铁矿化、黄铜矿化、磁铁矿化、钾化、黑云母化、绢云母化、绿泥石化、碳酸盐化、青盘岩化(斑岩)	石榴子石、透辉石、透闪石、硅灰石、磁铁矿、黄铜矿、斑铜矿、黄铁矿、方铅矿、闪锌矿、石英、方解石、钾长石、方柱石、黑云母、绢云母、阳起石等	冬瓜山、铜官山	浆矽卡岩单元、接触交代矽卡岩单元、层矽卡岩单元、热液单元、热液单元、爆破角砾岩单元、蚀变单元
繁昌盆地火山流体系统	与燕山期喷出岩活动有关	燕山晚期	脉状、网脉状、顺层条带状、浸染状等	硅化、蛋白石化、粘土化、黄铁矿化	黄铁矿、胶黄铁矿、石英、水蛋白石、方解石、高岭土、蒙脱石等	养殖场、狮峰村(Pb、Zn, 膨润土)、繁昌盆地	蚀变单元
中低温热液流体系统	与燕山期后构造裂隙、地层中流体活动有关	燕山晚期	脉状、网脉状、顺层条带状、浸染状等	硅化、多金属硫化物矿化、碳酸盐化、高岭土化	黄铁矿、胶黄铁矿、方铅矿、闪锌矿、毒砂、黝铜矿、铋硫酸盐、石英、方解石、高岭石等	鸡冠石、曹山、马山、包村	蚀变单元

通道单元。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。通道单元由下伏上泥盆统一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。

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,因在大通锰矿一带较典型而命名,包括热水沉积单元和通道单元。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。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。

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,因在老鸦岭一带较典型而命名,包括热水沉积单元和通道单元。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。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。

1.2.2 燕山期岩浆流体系统

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,因此又可称为铜陵流体系统。这一流体系统初步划分为 2 个流体子系统,随着研究程度的深入,还可逐步建立与不同类型岩浆岩相关的不同的流体子系统。

狮子山子系统 与石英二长闪长岩和辉石二长闪长岩的侵入活动密切相关,以发育多种类型的矽卡岩为特征,因在狮子山矿田最典型而命名,包括浆矽卡岩单元、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。浆矽卡岩单元主要由岩浆矽卡岩构成,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浆岩体和地层内,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。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,可显示成分分带,如石榴石带、透辉石带、硅灰石带等。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。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岩组成。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。

该子系统中的凤凰山矿田与花岗闪长岩密切相关,以发育接触交代型矽卡岩为特征,包括接触交代

矽卡岩单元、热变质单元和热液单元。接触交代矽卡岩单元产于岩体接触带内,由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。热变质单元由岩体周围的大理岩和角闪岩组成。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,常叠加于接触交代矽卡岩单元之上。

沙滩脚子系统 与中酸性侵入岩体密切相关,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,因在沙滩脚矿区较典型而命名,主要由蚀变单元组成,此外在凤凰山等地见有爆破角砾岩单元。蚀变单元主要见于岩体及其附近,由硅化、钾化、绢云母化和青盘岩化等蚀变岩组成,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盘岩化。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,表明其形成晚于以矽卡岩为特征的凤凰山流体活动,故将其暂置于沙滩脚系统内。

1.2.3 燕山晚期繁昌盆地火山流体系统

燕山晚期繁昌盆地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,主要分布于繁昌火山岩盆地南侧与铜陵地区北侧的交接地带。在繁昌盆地南部的火山岩系中,主要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,以蝌蚪山东侧最发育,可称为蝌蚪山流体子系统。在铜陵地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。

1.2.4 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表现为沿开放的张性断裂活动的中低温热液,常伴生有金银矿化,分布于铜陵断块西北部,以鸡冠石银金矿最典型而称之为鸡冠石流体子系统,包括沿断裂裂隙分布的充填单元和两侧围岩中的蚀变单元。充填单元由规模较大的石英-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。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。

2 采样位置

为了建立铜陵地区流体系统的时间序列和格架,笔者在野外区域流体记录调查中,注意对不同流体系统的产出层位,相互切割关系的研究,同时分别在小铜官山、老庙基山、塌里牧、金口岭、新桥和峙门口等地对不同流体系统的流体记录采集样品进行年龄测定,取样位置和样品产状见图1和表2、表5。

3 测试方法和流程

测试分析分别在国家地质实验测试中心 Re-Os 同位素实验室,中国科学院广州地球化学研究所 Ar-Ar 同位素实验室和中国地质科学院 K-Ar 同位素实验室进行。

3.1 Re-Os 年龄测定方法

有关 Re-Os 年龄测定的流程和精度已有了许多

表2 测试样品采集位置及产出状态
Table 2 Sampling locations and modes of occurrence of samples

流体系统	样品编号	采样位置	产出状态	测年方法/对象
喷流沉积流体系统	DI 72	峙门口硫铁矿	C ₂ 底部喷流沉积块状黄铁矿	Re-Os/ 黄铁矿
燕山期岩浆流体系统	Y001	金口岭铜钼矿化	矽卡岩化辉石二长闪长岩中浸染状辉钼矿	Re-Os/ 黄铁矿
	DGS-23	冬瓜山	花岗闪长岩体中含辉钼矿硫化物石英脉	Re-Os/ 黄铁矿
	D21-12	小铜官山铜矿床	矽卡岩带中与黄铜矿磁铁矿共生的铬云母团块	Ar-Ar/ 铬云母
	SSS-1-1	老庙基山铜矿床	矽卡岩带中与黄铜矿磁铁矿共生的伟晶状铬云母	Ar-Ar/ 铬云母
	V-18	塌里牧	钾长石化花岗闪长岩中与铜、钼矿化共生的黑云母	Ar-Ar/ 黑云母

报道, Re、Os 化学分离步骤和质谱测定请参照文献(杜安道等, 1994; 2001; Shirey et al., 1995; Smoliar et al., 1996), 现简述如下。

分解样品 准确称取待分析样品, 通过长颈漏斗加入到 Carius 管(一种高硼厚壁大玻璃安瓿瓶)底部。缓慢加液氮到装有半杯乙醇的保温杯中, 调节温度到摄氏 -50 ~ -80 °C。放装好样的 Carius 管到该保温杯中, 通过长颈漏斗把准确称取的¹⁸⁵Re 和¹⁹⁰Os 混合稀释剂加入到 Carius 管底部, 再加入 2 mL $c(\text{HCl}) = 10 \text{ mol/L}$ 的 HCl, 6 mL $c(\text{HNO}_3) = 16 \text{ mol/L}$ 的 HNO₃。当管底溶液冰冻后, 用丙烷氧气火焰加热封好 Carius 管的细颈部分。待回温后, 放入不锈钢套管内。轻轻放套管入鼓风机烘箱内, 逐渐升温到 230 °C, 保温 10 h。在底部冷冻的情况下, 打开 Carius 管, 并用 40 mL 水将管中溶液转入蒸馏瓶中。

蒸馏分离 Os 于 105 ~ 110 °C 蒸馏 50 min, 用 10 mL 水吸收蒸出的 OsO₄, 用于 ICP-MS(等离子体质谱仪测定)测定钨同位素比值。将蒸馏残液倒入 50 mL 小烧杯中待分离 Re。

萃取分离 Re 将第一次蒸馏残液置于电热板上, 加热近干。再加少量水, 加热近干。加入 10 mL $c(\text{NaOH}) = 5 \text{ mol/L}$ 的 NaOH, 稍微加热, 转为碱性介质。取上清液转入 120 mL Teflon 分液漏斗中。加入 10 mL 丙酮, 萃取 Re。静止分相, 弃去水相。加 2 mL $c(\text{NaOH}) = 5 \text{ mol/L}$ 的 NaOH 溶液到分液漏斗中, 振荡 2 min, 洗去丙酮相中的杂质。弃去水相, 排丙酮到 100 mL 已加有 2 mL 水的玻璃烧杯中。在电热板上 50 °C 加热以蒸发丙酮。加热溶液至干。加数滴浓硝酸, 加热蒸干以除去残存的 Os。用数毫升稀 HNO₃ 溶解残渣, 稀释到硝酸浓度为 2%, 备 ICPMS 测定铼同位素比值。如含 Re 溶液中盐量超过 1 mg/mL, 需采用阳离子交换柱除去 Na。

黄铁矿样品数据用中国地质科学院地质所电感

耦合等离子体质谱仪 TJA PQ-EXCELL ICP-MS 测定, 辉钼矿样品数据用国家地质实验中心质谱仪 POEMS-TJA 测定; $\text{Os}_{\text{总}} = \text{Os}_{\text{普}} - {}^{187}\text{Os}_{\text{普}} + {}^{187}\text{Os}_{\text{总}}$ 。

3.2 Ar-Ar 年龄测定方法

实验测定是在英制 MM-1200 型稀有气体同位素质谱计上进行的。该仪器灵敏度为 $3 \times 10^{-4} \text{ A/}$ 毛, 真空度为 10^{-9} mmHg , ⁴⁰Ar 本底 10^{-14} mol , ³⁶Ar、³⁷Ar、³⁸Ar、³⁹Ar 本底 10^{-16} mol 。样品经快中子照射, 快中子照射总通量为 $1.3 \times 10^{18} \text{ n/cm}^2$, 经放射性冷却后的样品装入全不锈钢超高真空提取、纯化系统, 真空度为 10^{-8} mmHg ; 样品由电子轰击炉进行各阶段加热和控制温度。各阶段析出气体经海绵钛蒸发钛纯化后, 转入质谱仪, 进行各 Ar(³⁶Ar、³⁷Ar、³⁸Ar、³⁹Ar、⁴⁰Ar) 同位素峰值静态测定, 峰值由计算机直接采读; 并分别进行 Ca、K 由于快中子照射产生的³⁶Ar 和⁴⁰Ar 同位素干扰校正, 计算氩同位素比值与各阶段年龄, 绘制坪年龄和等时线谱图。

用于计算年龄的公式为: $t = 1/\lambda \times \ln[1 + ({}^{40}\text{Ar}_{\text{放}}/{}^{39}\text{Ar}_{\text{K}})_{\text{样}} \times J]$

作为年龄比照的标准样品采用全国通用的 JBH 黑云母, 其年龄值为 132.5 Ma。Ca 产生的氩同位素已作干扰校正。坪年龄由若干相邻温度段的阶段年龄统计得出, 选用连续相邻的年龄值相差一般不超过 2% ~ 3% (含误差值)。给出的等时线年龄图中标有取点, 截距和可信度。

4 测试结果

获得了 D172、YOO1 两组样品的 Re-Os 同位素年龄; D21-12、SSS-1-1、V-18 3 件样品的 Ar-Ar 同位素年龄和 7 件岩浆岩(脉岩)的 K-Ar 同位素年龄。分析结果分别列于表 3、表 4、表 5、表 6 中, 并见图 2、图 3 示意。

表 3 金口岭及冬瓜山黄铁矿 Re、Os 含量及模式年龄

Table 3 Re-Os contents and model age of molybdenite in the Jinkouling Cu-Mo ore spot

样品编号	m/g	Os _普 /(ng·g ⁻¹)	Re/(μg·g ⁻¹)	¹⁸⁷ Re/(μg·g ⁻¹)	¹⁸⁷ Os/(ng·g ⁻¹)	t/Ma
YOO1-1	0.00707	1.36(28)	352.8(1.8)	221.8(1.2)	508.2(7)	137.4
YOO1-2	0.00949	0.73(20)	312.8(1.3)	196.6(8)	447.8(8)	136.5
YOO1-3	0.00929	0.80(7)	339.4(1.7)	213.3(1.0)	487.6(5)	137.1
YOO1-4	0.00943	0.00(15)	275.0(1.4)	172.9(9)	393.8(4)	136.6
YOO1-5	0.01682	0.00(9)	154.2(7)	96.9(4)	221.1(3)	136.8
YOO1-7	0.00903	0.00(5)	30.9(1)	19.4(1)	44.3(1)	136.8
DGS-23	0.02423	0.83(8)	76.4(4)	48.0(3)	110.1(2)	137.4

分析者: 国家地质实验测试中心王淑贤。数据栏中的括号内为误差。样品产状见表 2。

表4 峙门口硫铁矿黄铁矿 Re-Os 同位素分析数据

Table 4 Analytical data of Re-Os isotopes of pyrite from Simenkou S Fe deposit

样品编号	m/g	Re/(ng·g ⁻¹)		¹⁸⁷ Re/(ng·g ⁻¹)		Os _总 /(ng·g ⁻¹)		¹⁸⁷ Re/ ¹⁸⁸ Os/(ng·g ⁻¹)		¹⁸⁷ Os/ ¹⁸⁸ Os/(ng·g ⁻¹)	
		测定值	2σ	测定值	2σ	测定值	2σ	测定值	2σ	测定值	2σ
DI 72-2	0.40138	0.86	0.01	0.54	0.01	0.0108	0.0004	481.7	5.3	2.1	0.1
DI 72-3	0.40384	7.32	0.10	4.60	0.06	0.0417	0.0012	2310.8	31.1	13.5	0.4
DI 72-4	0.40061	2.53	0.02	1.59	0.02	0.0256	0.0006	786.4	7.7	5.2	0.1
DI 72-5	0.20067	10.1	0.13	6.32	0.08	0.1393	0.0057	681.1	8.6	7.5	0.3
DI 72-7	0.20077	65.25	0.76	41.01	0.48	0.2799	0.0023	4814.5	56.3	25.4	0.2
DI 72-9	0.40197	5.86	0.07	3.68	0.04	0.0748	0.0008	600.4	7.2	4.7	0.1
DI 72-10	0.40147	10.8	0.14	6.80	0.09	0.0637	0.0018	1565.9	20.8	7.2	0.2
DI 72-12	0.20063	3.09	0.03	1.94	0.02	0.0496	0.0034	348.5	3.8	1.4	0.1
DI 72-13	0.20051	4.94	0.06	3.10	0.04	0.0465	0.0040	859.1	10.1	5.4	0.5

分析者:国家地质实验测试中心屈文俊,曾法刚。样品产状见表2。

表5 铜陵地区成矿流体系统 K-Ar 测年数据

Table 5 K-Ar ages of the metallogenic fluid systems in Tongling area

岩浆子系统	样品号	岩性	测试对象	t/ Ma
燕山晚期中低温热液流体系统				
	FHS4-P1	凤凰山灰黑色黑云二长花岗岩	斜长石	102.93 ± 4.35
	FHS5-P1	凤凰山南缘清水塘灰色细粒花岗闪长岩	斜长石	121.95 ± 1.97
	XI-18'	小铜官山肉红色二长花岗斑岩脉	全岩	114.76 ± 1.95
	D006-1	铜官山采场蚀变石英二长闪长岩(无晚期岩脉穿插)	全岩	119.26 ± 2.17
狮子山岩浆子系统				
	FHS4-Bi	凤凰山灰黑色黑云花岗岩闪长岩	黑云母	152.99 ± 2.85
	FHS5-Bi	凤凰山南缘清水塘灰色细粒花岗闪长岩	黑云母	143.35 ± 2.19
	XI-18	小铜官山灰色石英二长闪长岩	全岩	138.59 ± 4.01

测试单位:中国地质科学院 K-Ar 同位素实验室;分析人:陈文。

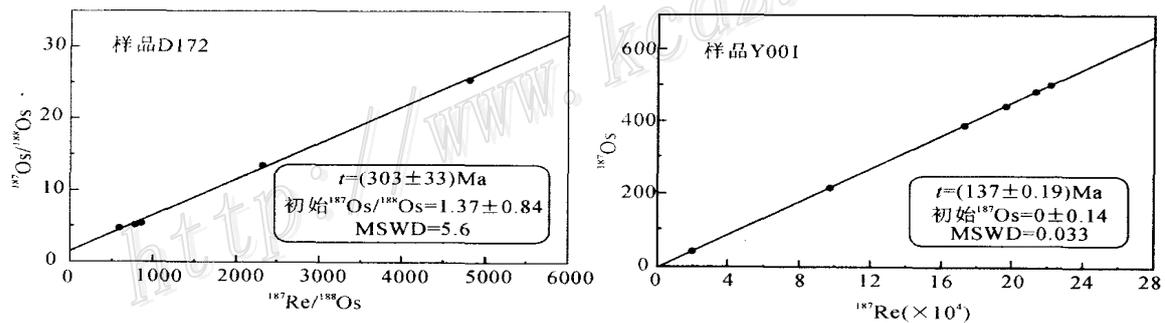


图2 测试样品数据 ISOPLOT 软件计算所得 Re-Os 等时线年龄

Fig. 2 Re-Os isochron diagram of sample data by ISOPLOT software calculation

5 讨论和结论

5.1 成矿流体系统时限的界定

铜陵矿集区4套流体系统的活动方式和产生的

流体记录各不相同,对其活动时代的确定相应地采取了不同的方法,通过同位素测年,获得了流体系统的部分流体活动记录的年龄,结合野外对不同流体记录的产出层位、切割交叉关系的研究,初步厘定了铜陵矿集区4套流体系统的时限(表7)。

表 6 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 阶段升温测年数据
Table 6 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ incremental heating analytical data

样号	$\theta/^\circ\text{C}$	$^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$	$^{39}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$	$^{37}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$	A	B	C	D	t/Ma	误差/ Ma
D21-12	300	543.5982	37.546465	0.29156	6.6078	0.522	1.72	45.61	126.19	1.63
	500	575.9111	39.253597	0.13608	7.1436	1.500	4.94	48.66	136.05	0.52
	620	963.7965	94.056118	0.53761	7.1053	1.770	5.93	69.28	135.35	0.48
	720	1086.7966	109.981712	0.28121	7.1948	4.436	14.61	72.75	136.99	0.24
	850	1119.7423	116.252646	0.25889	7.0901	5.474	18.03	73.54	135.07	1.19
	920	1139.1673	120.327463	0.35750	7.0114	4.748	15.64	73.99	133.62	1.26
	1000	1068.3297	109.147482	0.29807	7.0806	6.121	20.16	72.28	134.89	1.21
	1080	1139.1673	117.224595	0.63608	7.1970	3.118	10.27	73.99	137.03	1.33
	1150	1112.9944	114.320326	0.59196	7.1509	1.630	5.37	73.38	136.19	0.73
	1220	676.9759	58.427541	0.91422	7.2041	0.780	2.57	56.31	137.16	1.16
SSS-1-1	300	615.7533	45.830202	0.85757	6.9878	0.243	1.62	51.98	133.19	3.49
	500	582.9552	37.969977	0.22740	7.5706	0.820	5.46	49.28	143.87	0.96
	620	995.2846	92.876902	0.52282	7.5345	1.299	8.79	70.25	143.21	0.65
	720	1144.9051	110.091385	1.17236	7.7155	2.348	15.64	74.13	146.51	0.45
	850	1192.0129	117.045899	1.06757	7.6595	2.738	18.24	75.15	145.49	1.38
	920	1119.7423	109.235999	1.33018	7.5455	2.303	15.34	73.55	143.41	1.55
	1000	1144.4617	110.856457	1.44354	7.6582	2.864	19.08	74.12	145.47	1.44
	1080	1159.7331	113.734814	1.56983	7.5987	1.339	8.92	74.46	144.38	1.76
	1150	1121.0167	108.086982	1.67328	7.6375	0.692	4.61	73.58	145.09	1.71
	1220	745.0832	66.031036	1.04832	7.7348	0.315	2.10	60.30	146.86	2.87
V-18	350	1148.9114	117.512653	0.05043	7.2623	0.177	1.41	74.21	138.23	4.77
	480	3027.6639	387.750855	0.01886	7.0462	0.755	6.01	90.14	134.26	0.99
	600	3857.7023	504.229208	0.01228	7.0646	1.182	9.54	92.24	134.60	0.71
	750	4974.7475	669.770991	0.02320	6.9863	1.631	12.98	93.95	133.16	0.64
	850	3759.542	504.113531	0.01864	6.8716	2.373	18.89	92.03	131.05	1.44
	980	4797.0779	649.383885	0.04169	6.9321	2.648	21.08	93.73	132.17	1.47
	1120	5025.5102	668.828661	0.05830	7.0721	2.258	17.97	94.01	134.74	1.55
	1200	4019.3048	532.268965	0.08660	6.9961	1.162	9.25	92.54	133.34	1.88
	1250	3302.6927	437.003972	0.11376	6.8814	0.263	2.09	90.95	131.23	4.52
	1350	2856.6911	411.506290	0.12331	6.8280	0.114	0.91	89.55	130.25	7.92

测试者:戴 谟。① A 为($^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}_k$)_校; B 为 $^{39}\text{Ar}(\times 10^{-12}\text{ mol})$; C 为 $^{39}\text{Ar}(\%)$; D 为 $^{40}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}_{\text{总}}(\%)$ 。② D21-12:冷却时间 = 244 Ma; $m = 0.611\text{ g}$; $J = 0.0109655$; $t_p = (135.43 \pm 0.45)\text{ Ma}$; $t_i = (137.68 \pm 2.75)\text{ Ma}$ 。③ SSS-1-1:冷却时间 = 248 Ma; $m = 0.1324\text{ g}$; $J = 0.0109655$; $t_p = (144.95 \pm 0.44)\text{ Ma}$; $t_i = (150.25 \pm 3.00)\text{ Ma}$ 。④ V-18:冷却时间 = 249 Ma; $m = 0.01087$; $J = 0.0109655$; $t_p = (133.72 \pm 0.52)\text{ Ma}$; $t_i = (132.60 \pm 2.65)\text{ Ma}$ 。样品产状见表 2。

海西期喷流沉积流体系统依据化学沉积单元的产出层位,划分出与成矿有关的新桥子系统,成矿流体活动于晚石炭世早期,产于峙门口的块状黄铁矿的 Re-Os 同位素测年结果表明,黄铁矿等时线年龄为(303 ± 33) Ma,与谢华光等(1995)所测新桥黄铁矿的 Rb-Sr 等时线年龄(313.2 ± 32.7) Ma 相近,并

与黄龙组地层时代一致,处于晚石炭世早期。王彦斌等(2004)对新桥矾头山石英二长闪长岩中锆石 SHRIMP 测年结果为(140.4 ± 2.0) Ma,层状块状硫化物中的重结晶黄铁矿 Rb/Sr 等时线年龄为(112.6 ± 7.8) Ma。说明新桥海西期喷流沉积产物受矾头山岩浆流体系统的影响,形成 140 Ma 的叠加年龄。

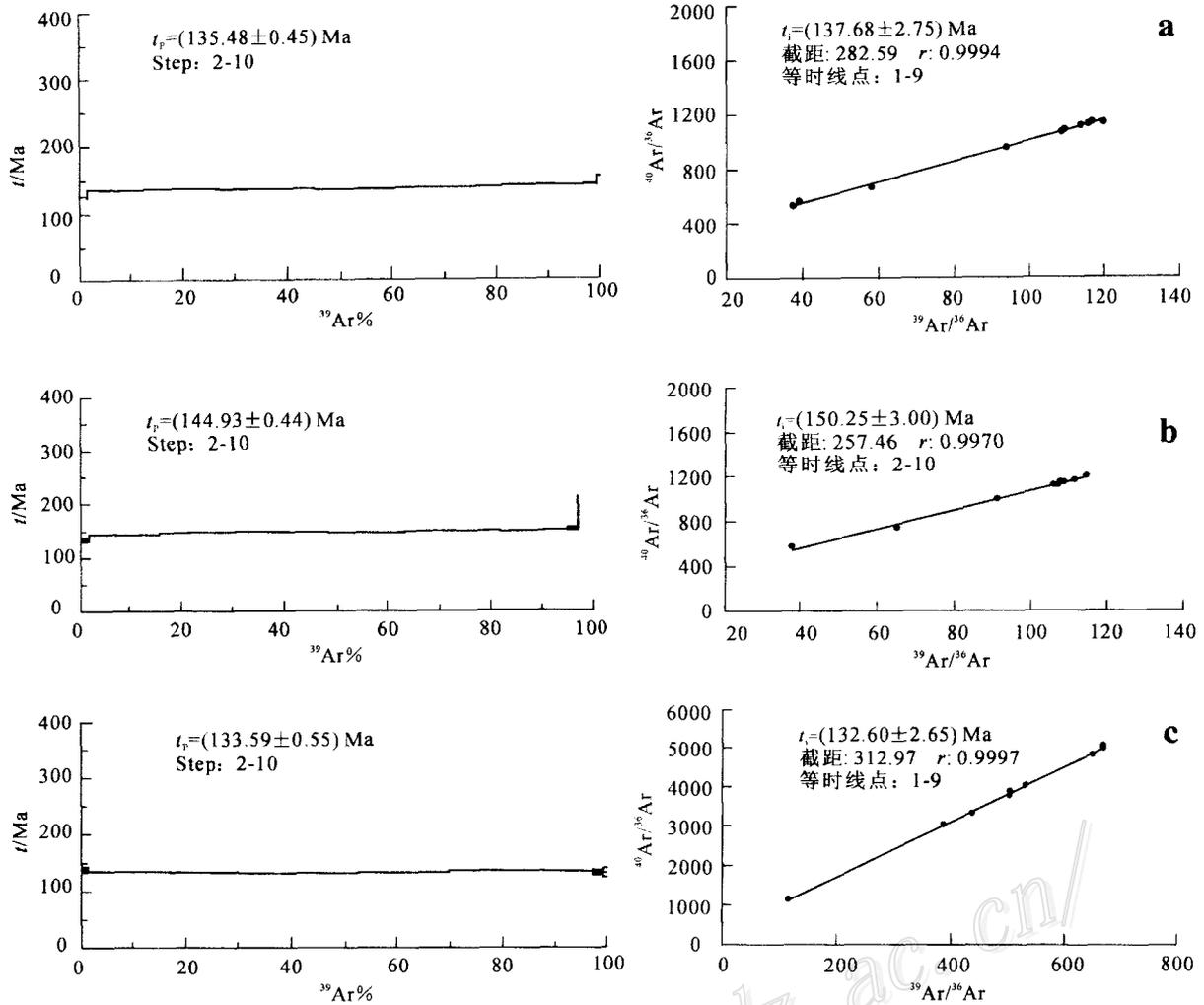


图3 Ar-Ar 年龄测定坪年龄谱图和等时线图

a. D21-12 样品; b. SSS-1-1 样品; c. V-18 样品

Fig.3 Ar-Ar plateau age and isochron

a. Sample D21-12; b. Sample SSS-1-1; c. Sample V-18

表7 铜陵矿集区流体系统活动年代表

Table 7 Epochs of fluid system activities in Tongling ore concentration area

流体系统	地质年代	同位素年龄 t / Ma	备注
燕山晚期中低温热液流体系统	早白垩世	$102.93 \pm 4.35 \sim 114.76 \pm 1.95$	斜长石及花岗岩脉全岩 K/Ar 法
燕山晚期繁昌火山流体系统			
蝌蚪山子系统	早白垩世		
燕山期岩浆流体系统			
沙滩脚子系统	晚侏罗世—早白垩世	137.0 ± 0.2	辉钼矿 Re/Os 法
		138.6 ± 4.01	黑云母 Ar/Ar 法
		133.59 ± 0.55	闪长岩 K/Ar 法
狮子山子系统	晚侏罗世	$135.48 \pm 0.45; 144.93 \pm 0.44$	矽卡岩中铬云母 Ar/Ar 法
海西期喷流沉积流体系统			
老鸦岭子系统	晚二叠世晚期		
大通子系统	早二叠世晚期		
新桥子系统	晚石炭世早期	303 ± 33	黄铁矿 Re/Os 法

燕山期岩浆流体系统活动时代的依据:老庙基山铜矿床矽卡岩带中与磁铁矿共生的伟晶状铬云母的 Ar-Ar 坪年龄为 (144.93 ± 0.44) Ma, 代表狮子山子系统的活动时代;小铜官山铜矿床矽卡岩带中遭受白云母化蚀变的铬云母团块 Ar-Ar 坪年龄为 (135.48 ± 0.45) Ma, 与金口岭和塌里牧的辉钼矿 Re-Os 等时线年龄 $[(137.0 \pm 0.2)$ Ma 和 (138.6 ± 0.2) Ma] 相近, 代表沙滩脚子系统的活动时代。另外凤凰山和小铜官山岩体 K/Ar 年龄测定分别为 (148.17 ± 2.52) Ma (均值) 和 (138.59 ± 4.01) Ma, 说明流体活动产生的矿化蚀变滞后于岩体侵入时代 3 Ma 左右。毛景文等 (2004) 应用 Re/Os 法对铜陵地区大团山、沙滩脚和南阳山的矽卡岩型层状矿体中的辉钼矿进行精确测年, 得出铜钼金硫化物成矿的模式年龄为 $(138.0 \pm 3.2) \sim (140.8 \pm 2.0)$ Ma, 平均 (139.3 ± 2.6) Ma, 等时线年龄 (139.1 ± 2.7) Ma, 属于早白垩世。为本区燕山期岩浆流体系统及子系统的精确定年进一步提供了佐证。

燕山晚期繁昌火山流体系统所蚀变、充填的最新地层为下白垩统蝌蚪山组火山岩, 因此该流体系统活动的时代应为早白垩世。

燕山晚期中低温热液流体系统蚀变交代了 K-Ar 全岩年龄为 (114.76 ± 1.95) Ma 和 (121.95 ± 1.97) Ma 的花岗(斑)岩脉, 其活动时代大致也在早白垩世。

5.2 结论

对铜陵矿集区成矿流体系统的流体记录同位素年龄精确测定, 结合野外对不同流体记录的产出层位、切割交叉关系的研究, 厘定了 4 套流体系统的时限: 燕山晚期中低温热液流体系统 $[(118.36 \pm 1.96)$ Ma]; 燕山期火山流体系统 (早白垩世); 燕山期岩浆流体系统 [晚侏罗世—早白垩世: $(144.93 \pm 0.44) \sim (133.59 \pm 0.55)$ Ma]; 海西期喷流沉积流体系统 [晚石炭世早期 (303 ± 33) Ma—晚二叠世晚期], 建立了矿集区流体系统的时间序列和格架。

本文仅初步对野外“蚀变-流体填图”研究中划分的部分流体系统进行了年龄测定, 厘定了它们的时限, 今后有待于进一步研究完善。流体系统测年研究应注意区别: 成矿与非成矿流体系统的流体记录; 岩浆侵位时的流体记录与侵位后的流体记录; 海西期喷流沉积与燕山期岩浆流体系统的叠加。

致 谢 野外调研期间得到安徽省地勘局储国

正、孙军, 三二一地质队牟立品、许发有、周育才、郭祥焱, 狮子山铜业股份有限公司陈邦国、周贵斌等, 青山金矿程年进, 新桥矿业公司刘宏勋、宋刚、高茂生, 虎山金矿方七林, 峙门口硫铁矿和凤凰山铜矿等的大力支持和帮助, 在此一并致谢。

References

- Du A D, He H L, Yin N W, et al. 1994. A study on the rhenium-osmium geochronometry of molybdenites [J]. *Acta Geologica Sinica*, 68: 339 ~ 347 (in Chinese with English abstract).
- Du A D, Zhao D M, Wang S X, et al. 2001. Precise Re-Os dating for molybdenite by ID-NTIMS with tube sample preparation [J]. *Rock and Mineral Analysis*, 20(4): 247 ~ 252 (in Chinese with English abstract).
- Mao J W, Holly S, Du A D, et al. 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(1): 121 ~ 131 (in Chinese with English abstract).
- Meng Y F, Hou Z Q, Yang Z S, 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).
- Meng Y F, Hou Z Q, Yang Z S, et al. 2004. Alteration-fluid mapping and metallogenetic fluid system of Tongling mineralization concentrated area [J]. *Mineral Deposit*, 23(3): (in Chinese with English abstract).
- Shirey S B and Walker R J. 1995. Carius tube digestion for low-blank rhenium-osmium analysis [J]. *Anal. Chem.*, 67: 2136 ~ 2141.
- Smoliar M I, Walker R J and Morgan J W. 1996. Re-Os ages of group IIA, IIIA, IVA and VIB iron meteorites [J]. *Science*, 271: 1099 ~ 1102.
- Wang Y B, Liu D Y, Meng Y F, et al. 2004. SHRIMP U-Pb geochronology of the Xinqiao Cu-S-Fe-Au deposit in the Tongling ore district, Anhui [J]. *Geol. in China*, 31(2): 169 ~ 173 (in Chinese with English abstract).
- Xie H G, Wang W B and Li W D. 1995. Ore-forming age and material source of Cu-S deposit in Xinqiao, Anhui [J]. *Volcanology & Mineral Resources*, (2): 101 ~ 107 (in Chinese with English abstract).
- Yang Z S, Hou Z Q, Meng Y F, et al. 2002. Regional-scale fluid system and its mineralization in Tongling ore-cluster-area, Anhui [J]. *Mineral Deposit*, 21(Supp.): 1080 ~ 1082 (in Chinese).

附中文参考文献

- 杜安道, 何红蓼, 殷宁万, 等. 1994. 辉钼矿的铼-钨同位素地质年龄测定方法研究 [J]. *地质学报*, 68(4): 339 ~ 347.
- 杜安道, 赵敏敏, 王淑贤, 等. 2001. Carius 管溶样和负离子热表面

- 电离质谱准确测定辉钼矿铼-钨同位素地质年龄[J]. 岩矿测试, 20(4): 247~252.
- 毛景文, Holly Stein, 杜安道, 等. 2004. 长江中下游地区铜金(钼)矿 Re-Os 年龄测定及其对成矿作用的指示[J]. 地质学报, 78(1): 121~131.
- 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.
- 蒙义峰, 侯增谦, 杨竹森, 等. 2004. 铜陵地区蚀变-流体填图与成矿流体系统[J]. 矿床地质, 23(3): .
- 王彦斌, 刘敦一, 蒙义峰, 等. 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[J]. 中国地质, 31(2): 169~173.
- 谢华光, 王文斌, 李文达. 1995. 安徽新桥铜硫矿床成矿时代及成矿物质来源[J]. 火山地质与矿产, (2): 101~107.
- 杨竹森, 侯增谦, 蒙义峰, 等. 2002. 安徽铜陵地区流体系统与成矿[J]. 矿床地质, 21(增刊): 1080~1082.

Tentative Temporal Constraints of Ore-forming Fluid Systems in Tongling Metallogenic Province

Meng Yifeng¹, Yang Zhusen¹, Zeng Pusheng¹, Xu Wenyi¹ and Wang Xuncheng²

(1 Institute of Mineral Resources, CAGS, Beijing 100037, China; 2 No. 321 Geological Party, Anhui Bureau of Geology and Exploration, Tongling 244033, Anhui, China)

Abstract

Based on division of fluid systems in Tongling metallogenic province, the authors collected thirteen samples from various fluid systems. Molybdenite, pyrite, sericite and diorite were precisely determined by Re-Os, Ar-Ar and K-Ar isotopic dating methods. These data, combined with the host strata and the cross-cutting relationship of fluid records, led the authors to determine the time limits of four fluid systems in Tongling ore concentration area: Yanshanian low-to-moderate temperature (epithermal) fluid system [(118.36 ± 1.96) Ma], Yanshanian volcanic fluid system (Early Cretaceous), Yanshanian magmatic fluid system (Late Jurassic-Early Cretaceous [(144.93 ± 0.44) ~ (133.59 ± 0.55) Ma]) and Hercynian eruptive sedimentary fluid system [early stage of Late Carboniferous (303 ± 33) Ma ~ late stage of Late Permian]. On such a basis, the tentative temporal constraints of fluid systems in Tongling metallogenic province are established, and hence an important basis for fluid system division and metallogenic fluid study is provided.

Key words: geology, fluid systems, temporal constraints, tentative decision, Tongling metallogenic province