文章编号:0258-7106(2013)06-1221-15

# 铜陵地区焦冲金硫矿床闪长玢岩锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄及其地质意义<sup>\*</sup>

### 阙朝阳<sup>1,2</sup>,吴淦国<sup>1</sup>,张 达<sup>1\*\*</sup>,张志辉<sup>1,3</sup>,狄永军<sup>1</sup>,方红薇<sup>1</sup>,袁 琴<sup>1</sup>

 (1中国地质大学地质过程与矿产资源国家重点实验室,北京 100083;2云南文山麻栗坡紫金钨业集团, 云南 文山 663600;3中国地质调查局发展研究中心,北京 100037)

摘 要 铜陵矿集区内广泛分布的铁铜硫金矿床被认为与中生代发生的大规模成岩作用密切相关,其中形成 于 140~150 Ma 之间的晚侏罗世高钾钙碱性岩体是主要的成矿岩体。文章选取铜陵焦冲金硫矿区与成矿相关的闪 长玢岩开展了锆石 LA-ICP-MS U-Pb 同位素年代学研究,测得闪长玢岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 同位素年龄为(128.0 ±2.2) Ma 表明铜陵地区除晚侏罗世与大规模成矿作用相关的高钾钙碱性岩浆作用外,还存在一期早白垩世与金 硫多金属成矿作用相关的岩浆活动。4 个中-晚石炭世岩浆锆石一致年龄(309~328 Ma)表明该区可能存在海西期 的岩浆作用,但其规模、背景及与成矿的关系还需进一步研究。其他 2 组继承岩浆成因锆石核的一致性年龄(1870~ 1931 Ma、600~808 Ma)表明铜陵地区与扬子克拉通一样存在明显的古元古代及新元古代的岩浆作用。 关键词 地球化学;LA-ICP-MS U-Pb 年龄;锆石;闪长玢岩;焦冲金硫矿床;铜陵

中图分类号:P618.51 文献标志码:A

# LA-ICP-MS zircon U-Pb dating of dioritic porphyrite in Jiaochong Au-S deposit, Tongling area, and its geological significance

QUE ChaoYang<sup>1,2</sup>, WU GanGuo<sup>1</sup>, ZHANG Da<sup>1</sup>, ZHANG ZhiHui<sup>1,3</sup>, DI YongJun<sup>1</sup>, FANG HongWei<sup>1</sup> and YUAN Qin<sup>1</sup>

(1 State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China;
 2 Malipo Zijing Tungsten Mining Group, Wenshan 663600, Yunnan, China; 3 Development Research Center,

China Geological Survey, Beijing 100037, China)

#### Abstract

The Fe, Cu, S and Au deposits distributed all over the Tongling area are considered to be closely related to the large scale magmatic activities that occurred in Mesozoic, in which the late Jurrasic high K calc-alkalic intrusions formed in 140~150 Ma are the main ore-forming plutons. The authors selected the dioritic porphyrite related to the Jiaochong Au-S deposit to conduct LA-ICP-MS zircon U-Pb dating of the pluton, and yielded an age of  $(128.0 \pm 2.2)$  Ma. It is suggested that, in addition to the late Jurrasic high K calc-alkalic intrusions related to large scale mineralization, there also existed early Cretaceous magmatism in the Tongling area, which corresponded to Au-S mineralization. Four middle and late Carboniferous concordant ages of magmatic zircons  $(309 \sim$ 

<sup>\*</sup> 本文得到安徽铜陵焦冲金(硫)多金属矿及蛤蟆岭金矿成因及成矿预测研究项目、全国危机矿山接替资源找矿项目(20089938),111 计 划(B07011)的联合资助

第一作者简介 阙朝阳,男,1970年生,在读博士生,主要从事矿产勘查、开发及矿业管理工作。Email:qcyzj@126.com \*\*通讯作者 张 达,男,1967年生,教授,主要从事区域构造、成矿规律及成矿预测研究。Email:zhangda@cugb.edu.cn 收稿日期 2012-10-02;改回日期 2013-11-05。许德焕编辑。

328 Ma) indicate that there possibly existed Hercynian magmatism, whose scale, setting and relationship with mineralization, however need further investigation. The other two groups of concordant ages for old inherited cores of magmatic origin ( $1870 \sim 1931$  Ma and  $600 \sim 808$  Ma) suggest Paleo- and Neo-proterozoic magmatism in the Tongling area.

Key words: geochemistry, LA-ICP-MS U-Pb ages, zircon, dioritic porphyrite, Jiaochong Au-S deposit, Tongling

铜陵地区是长江中下游铁铜多金属成矿带内的 一个重要矿集区,以发育与成矿密切相关的中生代 中-酸性岩浆岩为显著特征,形成了铜官山、狮子山、 新桥及凤凰山等铁铜硫金典型矿田。研究表明,铜 陵地区的铜铁金硫矿床主要为与花岗质岩石有关的 矽卡岩-热液矿床(郭宗山,1957;郭文魁,1957; 1963)。有关矿床形成过程及其与花岗岩之关系的 研究取得了众多成果(郭文魁等,1982;刘湘培等, 1988 濯裕生等,1992;黄许陈等,1993;唐永成等, 1998 周涛发等,1996;2000;吴淦国等,2003),并总 结出层控矽卡岩型及"多层楼"等成矿模式(常印佛 等,1991;唐永成等,1998)。不过,关于该区的成矿 作用还存在海西期海底火山喷流沉积以及沉积叠加 改造成因等观点。

近些年来,应用先进的同位素测年技术在铜陵 矿集区获得了一批精细的年代学数据 ,对其成岩成◎ 矿时代的研究也取得了一些新的认识。研究表明, 铜陵矿集区内成矿岩体的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄 大多集中在 140~150 Ma 之间(王彦斌等,2004a; 2004b; 2004c; 楼亚儿等, 2006; Dietal., 2005; 吴淦 国等 2008 法达等 2006 ) Cu( Mo) Fe-S-Au 矿床的 Re-Os 同位素年龄为 134~143 Ma( 毛景文等, 2004)。据此认为、铜陵地区的成岩成矿作用时代都 为晚侏罗世晚期,而早白垩世[122.9~(124.9± 0.3) Mal 成矿作用则主要集中在铜陵矿集区以北的 宁芜-庐枞断陷火山盆地(余金杰等,2002),形成了 铜陵及宁芜地区 2 套不同的成矿系统。虽然铜陵矿 集区内与成矿相关的高钾钙碱性岩体的成矿时代具 有相对集中的区间 但是 区内典型的成矿岩体如石 英二长斑岩、辉石二长岩、二长岩、花岗闪长岩、石英 二长闪长岩等具有自老而新的演化趋势 ,说明铜陵 矿集区内的侵入岩浆应该经历了相对完整的深部演 化过程(吴淦国等,2008)。关于该矿集区内与典型 矿床相关的侵入岩体的年代学及其与成矿关系的研 究相对完善 ,但对与中-小型矿床、矿点及矿化点有

关的侵入岩浆作用的成矿时代及其与成矿关系的研 究则尚欠深入,这在一定程度上制约了对该区晚侏 罗世—早白垩世岩浆演化与成矿关系的认识。为了 进一步研究铜陵地区岩浆活动及成矿作用过程,本 文选取与铜陵焦冲金硫多金属矿床成矿相关的闪长 玢岩开展了锆石 LA-ICP-MS U-Pb 同位素年代学研 究,据此认为铜陵地区存在与金硫多金属成矿作用 相关的早白垩世成矿岩体,并从中获得了一些有关 早期岩浆作用的新信息,在此基础上探讨了该地区 成岩成矿作用的时代。

# 1 区域地质背景

铜陵多金属矿集区位于长江中下游金属成矿 带 ,地处扬子板块东北缘大别造山带与江南地块之 间的下扬子台褶带贵池-繁昌断褶束中段(安徽省地 质矿产局,1984;常印佛等,1991;唐永成等,1998; 刘文灿等 , 1996 )。该矿集区内 ,NE 向展布的' S "形 复式褶皱核部与隐伏的 EW 向基底断裂的结合部 位,为中生代花岗岩浆活动提供了就位空间。成矿 岩浆岩主要为高碱富钾的中-酸性岩类 ,是该矿集区 的重要成矿物质来源(唐永成等,1998)。小铜官 山、凤凰山、新桥、冬瓜山和沙滩脚岩体是区内的主 要成矿岩体。区域上经历了前震旦纪基底形成阶 段、震旦纪—早三叠世的盖层发育阶段及中三叠世 —新生代以断块构造为主的板内变形阶段。晋宁运 动后的沉积盖层是区内的主要出露地层,厚度巨大, 是铜、硫、金等矿床的主要容矿围岩。印支运动使该 区形成了 NE 向"S"形褶皱及大量的不同层次的层 间滑脱构造 图 1 )。燕山运动伴随有强烈的岩浆-热 液叠加改造作用,形成了不同成因的铜、硫、金、铅、 锌等矿床。 自海西期-印支期以来,该区大致经历了 9期强弱不等的构造变形 形成了包括 NE 向层间滑 脱构造在内的 5 组不同方向的构造变形系统(刘文 灿等,1996)。



图 1 铜陵地区地质构造略图



焦冲矿区位于 NE 向"S"形青山背斜中段南东 翼近核部(图1),轴向为NE23~28°。青山背斜是 铜陵矿集区内规模较大的 NE 向构造变形,是印支 期 NE 向"S"形褶皱带的组成部分。该背斜卷入地 层为上泥盆统五通组(D,w)-中、下三叠统,其核部 地层由下三叠统小凉亭组(T<sub>1</sub>x)、塔山组(T<sub>1</sub>t)中厚 层灰岩、页岩及薄层条带状灰岩组成,两翼由中三叠 统南陵湖组(T2n)、分水岭组(T2f)中-薄层页岩和白 云质灰岩组成。在该矿区的-460m中段(图2),分 布的地层主要为上二叠统大隆组(P2d)泥质页岩及 灰岩夹硅质页岩,龙潭组(P2l)碳质页岩、长石石英 砂岩及煤层;下二叠统孤峰组(P1g)锰质及硅质页岩 夹灰岩,栖霞组(P1q)燧石灰岩、碳泥质灰岩及硅质 层。该矿区内的金铜多金属矿化主要赋存在栖霞组 (P<sub>1</sub>*q*)硅质层之下的灰岩地层中。该矿区的金铜铅 锌矿化严格受硅质层及灰岩地层的控制。硅质层是 成矿热液的阻隔层,成矿热液沿层交代硅质层之下 的碳酸盐岩地层而成矿,且使矿体呈似层状、透镜状 产出。根据矿床地质特征、矿床形成的温度以及与 闪长玢岩体的关系,认为焦冲矿床的类型为中-高温 执液型。

# 2 闪长玢岩

#### 2.1 闪长玢岩岩相学特征

铜陵地区青山背斜的核部大多被不同类型的岩体所侵入,其中,与成矿关系密切的岩体侵入至地层 条件较好以及构造有利部位后往往形成层控砂卡岩 型或热液型矿床。在青山背斜北部狮子山一带,石 英二长闪长岩、辉石二长闪长岩、花岗闪长岩及二长 花岗斑岩脉的侵入形成了包括冬瓜山层控砂卡岩型 铜矿床在内的狮子山矿田。

焦冲矿区的侵入岩体主要为闪长玢岩、辉石二 长闪长岩和闪长岩,其中,闪长玢岩与成矿关系密切 (具体情况见讨论)。钻孔内还可见辉绿玢岩及煌斑 岩脉。

闪长玢岩分布在矿区的南部,地表呈长条状, NE 走向,倾向 SE,从背斜南东翼轴部贯入,呈岩枝 状产出。在矿区深部中段,岩体呈圆形或椭圆形,侵 入于二叠系及三叠系,包括下二叠统栖霞组灰岩。

闪长玢岩的  $w(SiO_2)$ 为 63.33%,  $w(Al_2O_3)$ 为 16.92%,  $w(Na_2O+K_2O)$ 为6.22%,  $K_2O/Na_2O$ 值



图 2 焦冲金硫矿床-460 m中段平面地质图(边框数值为公里网) Fig. 2 Geological plan view at 460 m level in the Jiaochong Au-S deposit

为1.18(张志辉,2009)。岩石呈斑状结构(图3),斑 晶主要为斜长石、钾长石、角闪石和黑云母;斜长石 含量30%左右,粒径0.64~2.8 mm,可见聚片双晶 和环带结构,有绢云母化,可见波状消光;钾长石含 量10%左右,粒径1.125 mm 左右,可见卡式双晶,

有少量绢云母化;角闪石含量 15%左右,粒径 0.16 ~2.4 mm,呈长板状,多数已发生碳酸盐化;黑云母 含量 10%左右,粒径 0.125~1 mm,呈片状,有绿泥 石化。岩体黄铁矿化较发育,含量 5%左右。基质主 要为隐晶质。



图 3 焦冲矿床闪长玢岩的斑状结构(正交偏光)

Fig. 3 Microscopic photo showing porphyritic texture of the dioritic porphyrite from the Jiaochong Au-S deposit (crossed nicols)

2.2 闪长玢岩与金硫多金属矿成矿关系

焦冲金硫矿床位于紧邻青山背斜转折端的南东 翼以栖霞组硅质岩层为顶板的碳泥质灰岩中。该矿 床周边有 2 个规模较小的岩体,为闪长玢岩和辉石 二长闪长岩(图 2)。

目前,矿区内共圈定了3个主要矿体,即Ⅰ、Ⅱ 和Ⅲ号矿体。Ⅰ、Ⅱ号矿体在空间上围绕闪长玢岩 产出,Ⅲ号矿体在深部与Ⅰ号矿体相连。

矿体受栖霞组上硅质层的控制,形态较为简单, 剖面上呈层状或似层状,平面上呈透镜状;总体走向 为55°,倾向南东,倾角一般为10~30°,最大40°,最 小仅6°或近于水平;总长约120m,沿倾向最大延深 为184m,空间上表现为不连续,沿走向或倾向常见 尖灭再现,偶见分枝现象。总体上,矿体受硅质岩层 及闪长玢岩空间形态的控制。

该矿床的矿物成分较复杂,金属矿物以自然金、 磁黄铁矿、黄铁矿、闪锌矿为主,其次为方铅矿、毒 砂、银金矿、黄铜矿、磁铁矿等;脉石矿物以石英、菱 铁矿为主,其次为方解石、透闪石、硅灰石、阳起石 等。

矿石结构主要为他形晶粒状结构、自形-半自形 晶结构、晶隙晶结构、交代残余结构、乳滴结构及变 晶结构等。矿石构造以块状构造为主,有少量斑杂 状构造。

围绕闪长玢岩的蚀变作用比较发育,但范围及 强度差别较大。砂卡岩化发生在岩体与下二叠统孤 峰组(P<sub>1</sub>g)及栖霞组(P<sub>1</sub>q)灰岩的接触带,规模及强 度不大,可见石榴子石砂卡岩,局部为透辉石所交 代。大理岩化及角岩化在矿区内分布广泛且强度较 大,常见灰岩普遍大理岩化,以及页岩、硅质岩发生 热变质。其他蚀变有绿泥石化、高岭土化、钾长石 化、绢云母化、硅化等。碳酸盐化、绿泥石化与铜、硫 矿化关系较密切,硅化与金矿化关系较密切。围岩 蚀变特征表明,闪长玢岩体与焦冲矿床的金硫多金 属成矿作用具有相关性。

为了进一步确定该矿区内闪长玢岩与成矿作用 的关系,笔者在矿床的不同部位采集了与矿石矿物 伴生的石英及方解石,对其中相对较大的气液两相 包裹体和 CO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O 三相包裹体进行了测温研究。 18 个样品包裹体的均一温度可分为 3 个区间:440 ~410℃、350~320℃和 320~260℃(图 2 )。这反映 出,从早期的石英-硫化物阶段到晚期的方解石热液 阶段,成矿温度呈现出逐渐降低的趋势。根据获得 的包裹体均一温度,结合取样位置,可以得知,焦冲 矿床形成温度较高之处主要集中在闪长玢岩体附 近,温度一般可达400℃以上,随着离岩体愈远,温度 逐渐降低。据此分布规律,可以判断闪长玢岩体与 成矿作用具有直接关系。矿床地质及成矿温度特征 表明,焦冲金硫矿床经历了从高温至中-低温热液作 用的全过程,成矿作用总体上围绕闪长玢岩体发生, 并形成了不同类型及程度的蚀变及矿化。

#### 3 样品分析方法

为了了解与成矿密切相关的闪长玢岩的形成时 代 在焦冲矿区 420 中段 27 线穿脉 SE 方向距主巷 道约 150 m 处,采集了 1 件闪长玢岩样品(样品号 J-7) 采样位置见图 2),开展了同位素年代学研究。 样品较新鲜、无风化,灰色至灰黑色,可见硅化、碳酸 盐化及黄铁矿化等现象,呈斑状结构,斑晶主要为斜 长石和钾长石,基质主要为隐晶质。样品的岩相学 特征见此前有关章节。

样品岩石中锆石的选取工作由河北省区域地质 调查研究所完成。具体步骤是,用常规方法将岩石 样品粉碎至约 300 μm,经磁法和密度分选后,淘洗、 挑纯。将锆石样品和标样(TEMORA)一起用环氧 树脂固定于样品靶上,样品表面经研磨、抛光,直至 锆石新鲜截面露出。对靶上锆石进行镜下反射光、 透射光照相后,进行阴极发光成像(CL)分析。样品 靶的制作及 CL 分析在中国地质科学院离子探针实 验室完成。

锆石 U-Pb 同位素年龄测试由天津地质矿产研 究所同位素实验室完成,测试仪器为 Thermo Fisher 公司制造的 Neptune 激光烧蚀多接收器电感耦合等 离子体质谱仪系统(LA-MC-ICPMS)。该系统的离 子光学通路采用能量聚焦和质量聚焦的双聚焦设 计,并采用动态变焦(ZOOM)使质量色散达到 17%; 配备有 9 个法拉第杯接收器和 4 个离子计数器接收 器 除了中心杯和离子计数器外,其余 8 个法拉第杯 配置在中心杯的两侧,并以马达驱动进行精确的位 置调节 A 个离子计数器捆绑在 L4 法拉第杯上。激 光器为美国 ESI 公司生产的 UP193-FX ArF 准分子 激光器,激光波长 193 nm,脉冲宽度 5 ns,束斑直径 为 1  $\mu$ m、2  $\mu$ m、10  $\mu$ m、20  $\mu$ m、25  $\mu$ m、35  $\mu$ m、50  $\mu$ m、 75  $\mu$ m、76  $\mu$ m、100  $\mu$ m、150  $\mu$ m,可调,脉冲频率 1~ 200 Hz,连续可调(李怀坤等 2009)。 根据锆石阴极发光照片、反射光和透射光照片, 选择出锆石的合适(感兴趣)的测年晶域,运用 193 nm激光器对锆石进行剥蚀,通常采用的激光剥蚀的 斑束直径为 35 μm 或 50 μm,激光能量密度为 13~ 14 J/cm<sup>2</sup>,频率为 8~10 Hz,激光剥蚀物质以 He 为 载气送入 Neptune,利用动态变焦扩大色散可以同时 接收质量数相差很大的 U-Pb 同位素从而进行锆石 U-Pb 同位素原位测定,选用 TEMORA 作为外部锆 石年龄标准。测得的数据用 ICPMSDataCal 和 Isoplot 程序(Ludwig, 1999)进行处理,并用<sup>208</sup>Pb 校正 法对普通铅进行校正。利用 NIST612 玻璃标样作 为外标,计算了锆石样品的 Pb、U、Th 含量。

实验条件和关键参数: 接收器设置——L4, <sup>206</sup>Pb;L3,<sup>207</sup>Pb;L4,<sup>208</sup>Pb;C,219.26;H2,<sup>232</sup>Th;H4,

<sup>238</sup>U。冷却气体 16 L/min,辅助气体 0.75 L/min,Ar 载气 0.968 L/min,He 载气 0.86 L/min。RF 功率
1251 W,积分时间 0.131 s,样品信号采集时间 60 s
(其中 20 s 为空白的测定)。

应用 LA-MC-ICPMS 系统测得的焦冲金硫多金 属矿床闪长玢岩体的锆石 U-Pb 同位素测年数据见 表 1。该表内所列单个数据点的误差均为 1<sub>0</sub>,加权 平均年龄具有 95%的置信度。

#### 4 测试结果

闪长玢岩中锆石的形态多样,主要可分为4组 (图4)。

第1组锆石,呈长条形(点1、2、7、8、10、11、12~



图 4 焦冲金硫矿区闪长玢岩锆石 CL 图像(圆圈为测试点)

Fig. 4 CL images for zircons from dioritic porphyrite of the Jiaochong Au-S deposit (circle is analysis point)

|                                                     | 1                 |                   | $1\sigma$                            | 88            | 59              | 27              | 23              | 39            | 14            | 56              | 70          | 31              | 59              | 43              | 129           | 105           | 108           | 95            | 30              | 89              | 16              | 20          | 11              | 97          | 61            | 10            | 88            |
|-----------------------------------------------------|-------------------|-------------------|--------------------------------------|---------------|-----------------|-----------------|-----------------|---------------|---------------|-----------------|-------------|-----------------|-----------------|-----------------|---------------|---------------|---------------|---------------|-----------------|-----------------|-----------------|-------------|-----------------|-------------|---------------|---------------|---------------|
|                                                     |                   |                   | $P_{\rm b}/^{206}P_{\rm b}$          | (10)          | 107             | 710             | 404             | 483           | 1754          | 102             | 9           | 451             | 156             | 29              | 153           | 248           | 158           | 69            | 89              | (161)           | 2441            | 2490        | 2351            | 493         | 159           | 1965          | 108           |
|                                                     |                   | , et              | $1\sigma^{-20}$                      | 5             | 4               | 10              | 4               | 7             | 15            | θ               | 4           | 5               | б               | 4               | 6             | 7             | 9             | 9             | 5               | Ś               | 43              | 52          | 12              | 14          | 5             | 12            | 9             |
|                                                     |                   | 年龄/M              | $\mathrm{D}_{\mathrm{Pb}/25}$        | 123           | 122             | 628             | 338             | 330           | 1376          | 125             | 123         | 334             | 125             | 165             | 125           | 131           | 130           | 124           | 132             | 120             | 2043            | 2546        | 1348            | 335         | 160           | 1947          | 131           |
|                                                     | eposit            |                   | $1\sigma^{-20}$                      | 2             | 2               | 10              | 4               | 4             | 20            | 0               | 5           | 5               | 5               | 0               | 5             | 7             | 5             | 7             | 5               | 6               | 19              | 27          | 12              | 9           | 4             | 22            | 0             |
|                                                     | g Au-S de         |                   | <sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U  | 130           | 123             | 606             | 328             | 309           | 1145          | 126             | 129         | 317             | 123             | 169             | 123           | 125           | 128           | 127           | 134             | 135             | 1672            | 2616        | 808             | 313         | 161           | 1931          | 132           |
| IS 分析结果                                             | ) of the Jiaochon |                   | U 10 err/%                           | 3 0.0030 0.65 | 2 0.0049 0.64   | 0.0038 0.63     | 5 0.0019 0.45   | 5 0.0022 0.45 | 2 0.0030 0.89 | 5 0.0074 1.43   | 0.0092 1.80 | 3 0.0047 1.07   | 0.0066 1.34     | 0.0026 0.95     | 8 0.0150 3.20 | 3 0.0042 1.06 | 7 0.0121 4.73 | 2 0.0072 1.37 | 9 0.0007 0.46   | 0.0067 1.78     | 0.0089 0.86     | 0.0103 1.15 | 2 0.0040 0.70   | 0.0081 1.85 | 1 0.0025 1.08 | 2 0.0102 1.31 | 7 0.0249 3.33 |
| -ICP-M                                              | ple J-7           |                   | 232Th/238                            | 0.4623        | 0.7682          | 0.6149          | 0.4296          | 0.4915        | 0.3332        | 0.5206          | 0.5109      | 0.4383          | 0.4961          | 0.275(          | 0.4678        | 0.3943        | 0.2557        | 0.5282        | 0.1419          | 0.3745          | 1.0360          | 0.8909      | 0.5782          | 0.435(      | $0.232^{4}$   | 0.7732        | 0.7457        |
| ]位素 LA-MC                                           | rphyrite ( san    |                   | $1\sigma  \mathrm{ent}/\%$           | 0.0002 3.20   | $0.0001 \ 2.28$ | $0.0004 \ 1.28$ | $0.0004 \ 1.93$ | 0.0002 1.61   | 0.0005 1.93   | $0.0001 \ 1.92$ | 0.0001 2.57 | $0.0003 \ 1.26$ | $0.0001 \ 2.10$ | $0.0001 \ 1.63$ | 0.0004 5.36   | 0.0003 4.07   | 0.0003 3.97   | 0.0003 4.24   | 0.0001 1.36     | $0.0004 \ 3.11$ | 0.0008 1.45     | 0.0013 1.34 | 0.0014 2.71     | 0.0005 3.79 | 0.0003 3.17   | 0.0012 1.42   | 0.0002 3.25   |
| ⊑ U-Pb Ē                                            | lioritic po       |                   | <sup>08</sup> Pb/ <sup>232</sup> Th  | 0.0063        | 0.0063          | 0.0320          | 0.0222          | 0.0094        | 0.0282        | 0.0058          | 0.0058      | 0.0211          | 0.0067          | 0.0071          | 0.0067        | 0.0062        | 0.0077        | 0.0060        | 0.0067          | 0.0143          | 0.0529          | 0.0960      | 0.0519          | 0.0124      | 0.0082        | 0.0830        | 0.0055        |
| ŧ品号 J-7)锆石<br>· · · · · · · · · · · · · · · · · · · | zircons from d    | 素比值               | $1\sigma$ err/% $^{2i}$              | 0.0013 3.65   | $0.0011 \ 2.48$ | 0.0008 1.26     | 0.0015 1.01     | 0.0011 1.77   | 0.0007 0.78   | 0.0011 2.38     | 0.0008 2.92 | 0.0014 1.38     | 0.0005 2.50     | 0.0005 1.80     | 0.0007 5.50   | 0.0003 4.56   | 0.0018 4.62   | 0.0017 4.00   | $0.0006 \ 1.28$ | $0.0014 \ 3.56$ | 0.0015 0.97     | 0.0011 1.20 | 0.0006 0.62     | 0.0006 4.39 | 0.0006 2.52   | 0.0006 0.56   | 0.0006 3.73   |
| 长玢岩(≉                                               | data for          | 同位                | <sup>07</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb  | 0.0459        | 0.0482          | 0.0630          | 0.0548          | 0.0568        | 0.1073        | 0.0480          | 0.0462      | 0.0560          | 0.0492          | 0.0489          | 0.0491        | 0.0512        | 0.0492        | 0.0474        | 0.0478          | 0.0431          | 0.1586          | 0.1633      | 0.1505          | 0.0570      | 0.0478        | 0.1206        | 0.0482        |
| 焦冲矿区闪长                                              | S U-Pb isotopic   |                   | $1\sigma$ err/% <sup>2</sup>         | 0.0055 4.30   | 0.0039 3.04     | 0.0135 1.58     | 0.0050 1.25     | 0.0081 2.11   | 0.0315 1.09   | 0.0034 2.59     | 0.0045 3.46 | 0.0063 1.61     | 0.0036 2.74     | 0.0039 2.20     | 0.0090 6.86   | 0.0076 5.47   | 0.0062 4.57   | 0.0062 4.74   | 0.0023 1.69     | 0.0050 3.99     | 0.1353 2.09     | 0.2290 2.03 | $0.0252 \ 0.91$ | 0.0165 4.22 | 0.0050 3.00   | 0.0352 0.61   | 0.0059 4.27   |
| 表 1                                                 | CP-MS             |                   | 07Pb/235U                            | 0.1291        | 0.1282          | 0.8569          | 0.3949          | 0.3840        | 2.8775        | 0.1310          | 0.1290      | 0.3893          | 0.1306          | 0.1790          | 0.1306        | 0.1383        | 0.1364        | 0.1298        | 0.1387          | 0.1257          | 6.4772          | 11.2717     | 2.7711          | 0.3915      | 0.1672        | 5.8056        | 0.1374        |
|                                                     | Lable 1 LA-MC     |                   | $1\sigma$ err/% <sup>2</sup>         | 0.0003 1.33   | 0.0003 1.35     | $0.0016\ 1.59$  | 0.0007 1.32     | 0.0007 1.40   | 0.0034 1.74   | 0.0003 1.32     | 0.0003 1.33 | 0.0007 1.46     | 0.0003 1.40     | 0.0004 1.33     | 0.0003 1.47   | 0.0003 1.33   | 0.0004 1.81   | 0.0004 1.92   | 0.0003 1.57     | 0.0003 1.46     | $0.0034 \ 1.16$ | 0.0052 1.04 | 0.0020 1.48     | 0.0010 1.93 | 0.0007 2.69   | 0.0039 1.12   | 0.0003 1.39   |
|                                                     |                   |                   | $^{206}\mathrm{Pb}/^{238}\mathrm{U}$ | 0.0204        | 0.0193          | 0.0986          | 0.0523          | 0.0491        | 0.1945        | 0.0198          | 0.0203      | 0.0504          | 0.0193          | 0.0265          | 0.0193        | 0.0196        | 0.0201        | 0.0199        | 0.0210          | 0.0211          | 0.2962          | 0.5006      | 0.1336          | 0.0498      | 0.0254        | 0.3491        | 0.0207        |
|                                                     |                   | /10 <sup>-6</sup> | Ŋ                                    | 291           | 318             | 109             | 316             | 163           | 78            | 215             | 307         | 207             | 320             | 374             | 152           | 144           | 111           | 67            | 1046            | 76              | 111             | 83          | 116             | 165         | 358           | 72            | 171           |
|                                                     |                   | w(B)              | $\mathbf{P}_{\mathrm{o}}$            | 6             | ×               | 15              | 29              | 10            | 20            | 9               | 6           | 18              | 6               | 17              | S             | 5             | Ś             | 7             | 63              | Ś               | 38              | 50          | 25              | 12          | 19            | 31            | 4             |
|                                                     |                   | 時料                | 国                                    | -             | 7               | б               | 4               | 5             | 9             | 2               | 8           | 6               | 10              | 11              | 12            | 13            | 14            | 15            | 16              | 17              | 18              | 19          | 20              | 21          | 22            | 23            | 24            |

第32卷 第6期

1227

| -           |                   | 10                                   | 30     | 10       | 12       | 12       | 69     | 37     | 13       | 100             | 15       | 28     | 94       | 103    | 108    | 10       | 10       | 104      |                      |
|-------------|-------------------|--------------------------------------|--------|----------|----------|----------|--------|--------|----------|-----------------|----------|--------|----------|--------|--------|----------|----------|----------|----------------------|
| 111. ± aUIC |                   | <sup>07</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb  | 713    | 1844     | 1855     | 1895     | 52     | 217    | 815      | 335             | 1866     | 708    | 644      | 521    | 136    | 2321     | 2658     | 56       |                      |
|             |                   | 10 20                                | 10     | 11       | 10       | 11       | 4      | 5      | 5        | 12              | 19       | 10     | 33       | 12     | 7      | 16       | 16       | 7        |                      |
|             | 年龄/Ma             | <sup>77</sup> Pb/ <sup>235</sup> U   | 654    | 1875     | 1863     | 1888     | 124    | 128    | 647      | 206             | 1432     | 657    | 648      | 208    | 134    | 1939     | 2744     | 128      |                      |
|             |                   | $1\sigma^{20}$                       | ×      | 21       | 21       | 21       | 5      | 5      | ×        | 4               | 22       | ×      | 14       | 4      | 5      | 20       | 33       | 2        |                      |
|             |                   | <sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U  | 637    | 1903     | 1870     | 1882     | 128    | 123    | 009      | 195             | 1158     | 642    | 649      | 181    | 134    | 1602     | 2864     | 132      |                      |
|             |                   | err/ %                               | 8 2.78 | 2 3.85   | 7 2.91   | 4 3.20   | 3 0.64 | 1 3.33 | 5 1.44   | 2 1.85          | 5 1.70   | ) 1.63 | 5 0.67   | 1.11   | 7 0.95 | 7 1.83   | 5 0.66   | ) 1.53   |                      |
|             |                   | 10                                   | 0.0228 | 0.0042   | 0.0047   | 0.0034   | 0.0028 | 0.001  | 0.0076   | 0.0042          | 0.006    | 0.0109 | 0.0035   | 0.008  | 0.0047 | 0.0107   | 0.0025   | 0.0180   | ) Ma                 |
|             |                   | <sup>232</sup> Th/ <sup>238</sup> U  | 0.8225 | 0.1099   | 0.1610   | 0.1073   | 0.4367 | 0.2732 | 0.5277   | 0.2286          | 0.3871   | 0.6663 | 0.5265   | 0.7539 | 0.4972 | 0.5850   | 0.3741   | 1.1753   | $28.0\pm 2.2$        |
|             |                   | T/ %                                 | 1.16   | 1.39     | 1.38     | 1.38     | 2.63   | 1.52   | ). 99    | 5.39            | 1.17     | 1.03   | 4.87     | 5.17   | 3.76   | 1.58     | 1.39     | 4.22     | 值为(1                 |
|             |                   | lo ei                                | 0.0003 | 0.0011   | 0.0011   | 0.0011   | 0.0002 | 0.0001 | 0.0002 ( | 0.0006          | 0.0004   | 0.0003 | 0.0014   | 0.0005 | 0.0002 | 0.0013   | 0.0018   | 0.0002   | 加权平均                 |
|             |                   | <sup>08</sup> Pb/ <sup>232</sup> Th  | 0.0249 | 0.0774   | 0.0783   | 0.0796   | 0.0064 | 0.0063 | 0.0238   | 0.0104          | 0.0343   | 0.0288 | 0.0282   | 0.0000 | 0.0063 | 0.0805   | 0.1299   | 0.0059   | J.表面年龄,              |
|             |                   | T/ % 2                               | .42    | ).53     | ).68     | ).65     | 2.90   | 1.58   | ).64     | t. <del>1</del> | ).84     | 1.32   | 1.36     | 1.68   | 1.58   | ).60     | ).59     | 1.38     | Pb/ <sup>238</sup> 1 |
|             | 素比值               | lo er                                | 0.0006 | 0.0006 ( | 0.0006 ( | 9.0006 ( | 0.0006 | 0.0006 | 0.0006 ( | 0.0006          | 0.0006 ( | 0.0006 | 0.0006 4 | 0.0006 | 0.0006 | 0.0006 ( | 0.0006 ( | 0.0006 2 | 号点的206               |
|             | 同位言               | <sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb | 0.0631 | 0.1127   | 0.1134   | 0.1160   | 0.0470 | 0.0505 | 0.0663   | 0.0531          | 0.1141   | 0.0630 | 0.0611   | 0.0578 | 0.0487 | 0.1478   | 0.1805   | 0.0471   | 9,30,37,40           |
|             |                   | T/ %                                 | 09.1   | 3.58     | 0.55     | 0.56     | 3.60   | 1.85   | 0.78     | 5.61            | 1.31     | 1.47   | 5.11     | 5.69   | 4.86   | 0.80     | 0.57     | 5.09     | 7,24,2               |
|             |                   | lo e                                 | 0.0145 | 0.0311   | 0.0291   | 0.0302   | 0.0047 | 0.0025 | 0.0070   | 0.0126          | 0.0406   | 0.0134 | 0.0456   | 0.0129 | 0.0069 | 0.0460   | 0.0790   | 0.0068   | $10, 12 \sim 1^{'}$  |
|             |                   | <sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U  | 0.9039 | 5.3351   | 5.2632   | 5.4213   | 0.1299 | 0.1344 | 0.8907   | 0.2254          | 3.0980   | 0.9091 | 0.8921   | 0.2270 | 0.1415 | 5.7492   | 13.9202  | 0.1345   | ±; 1,2,7,8,          |
|             |                   | 311/ %                               | 1.25   | 1.10     | 1.13     | 1.13     | 1.28   | 1.63   | 1.35     | 2.22            | 1.92     | 1.19   | 2.18     | 1.98   | 1.44   | 1.27     | 1.16     | 1.65     | 1σ误差                 |
|             |                   | la                                   | 0.0013 | 0.0038   | 0.0038   | 0.0038   | 0.0003 | 0.0003 | 0.0013   | 0.0007          | 0.0038   | 0.0012 | 0.0023   | 0.0006 | 0.0003 | 0.0036   | 0.0065   | 0.0003   | 是差均为                 |
|             |                   | 06Pb/238U                            | 0.1038 | 0.3433   | 0.3365   | 0.3391   | 0.0200 | 0.0193 | 0.0975   | 0.0308          | 0.1969   | 0.1047 | 0.1058   | 0.0285 | 0.0210 | 0.2820   | 0.5593   | 0.0207   | ē差;所列诗               |
|             | ,10 <sup>-6</sup> | n<br>N                               | 90     | 150      | 127      | 192      | 266    | 598    | 336      | 394             | 143      | 91     | 68       | 82     | 136    | 186      | 72       | 87       | T表示诗                 |
|             | w(B)/             | Pb                                   | 11     | 142      | 95       | 187      | ×      | 23     | 43       | 27              | 38       | 12     | 10       | ю      | 4      | 75       | 63       | 5        | 表中 er                |
|             | 相当                | 点<br>也,                              | 25     | 26       | 27       | 28       | 29     | 30     | 31       | 32              | 33       | 34     | 35       | 36     | 37     | 38       | 39       | 40       | 逬.                   |

续表 1 Count Table 1 17、22、24、29、30、32、36、37、40),晶体长约 70~150 μm ,宽约 35~65 μm ,长宽比约为 2:1~3:1。该组 锆石在形态及大小上差别不大 ,具明显的振荡环带 和扇形环带 ,少见核。其 Th/U 比值为 0.14~1.18 , 大部分集中在 0.4~0.5。为明显的岩浆成因锆石。

第 2 组锆石,呈宽板状,晶体长约  $100 \sim 150 \ \mu m$ , 宽约  $70 \sim 150 \ \mu m$ ,长宽比一般小于 2 :1。锆石边缘 环带发育,比较密集,边部棱角清晰,有时见较老的 锆石核(点 4、5、9、21)。Th/U 比值非常集中,为  $0.43 \sim 0.52$ ,也为明显的岩浆锆石。

第3组锆石 形态及大小差别较大,能见到不清 晰的环带(点3、20、25、31、34、35),但由于边部熔蚀 而使锆石形态发生变化,长短轴比也差别较大。Th /U比值集中在0.53~0.82。根据锆石环带特征可 判断该类锆石同样为岩浆锆石。

第4组锆石,呈浑圆状,不见明显的环带(点6、 18、19、23、26、27、28、33、38、39),代表早期较老继承 锆石核或碎屑锆石。

本次工作测试了 40 个不同类型的锆石颗粒 ,其

中 16 个颗粒 (1、2、7、8、10、12~17、24、29、30、37、40) 的测试结果在谐和图上组成密集的一簇(图 5A、C), <sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U 加权平均年龄为(128.0±2.2) Ma,方差 5.0。获得这一年龄的锆石颗粒都为第 1 组岩浆锆 石,该年龄应代表焦冲矿区闪长玢岩的结晶年龄。

还可由表 1 内的测试数据获得闪长玢岩体中不 同时代锆石的年代学信息。主要包括(2864±33) Ma 及(2616±27)Ma的新太古代锆石不一致年龄 (图 5A);古元古代(1931±22)~(1870±21)Ma(4 个点一致年龄)(1672±19)~(1602±20)Ma(2个 点不一致年龄)以及中元古代(1158±22)~(1145± 20)Ma(2个点不一致年龄)(图 5A);主要对应浑圆 状的第4组锆石,大部分为碎屑锆石或老的锆石核; 新元古代(808±12)~(600±8)Ma(6个点一致年 龄)对应第3组具一定环带的锆石(图 5A);中-晚石 炭世(328±4)Ma,(317±5)Ma,(313±6)Ma 及 (309±4)Ma,谐和图上的4个一致年龄对应第2组 晶形明显的岩浆锆石(图 5A,B);而(195±4)Ma, (169±2)Ma 及(161±4)Ma则是早-中侏罗世锆石,



图 5 焦冲金硫矿区闪长玢岩锆石 U-Pb 谐和图

Fig. 5 U-Pb concordia diagram for zircons from dioritic porphyrite of the Jiaochong Au-S deposit

晶形完整 但分布较少。

## 5 讨 论

#### 5.1 焦冲矿区闪长玢岩形成时代

铜陵地区现有较多的成岩和成矿年龄资料,包括早期应用 K-Ar、<sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar、Rb-Sr 以及 U-Pb 法(包括单颗粒锆石及锆石 SHRIMP 等)获得的年龄数据 (周泰禧等,1987;1988;储国正,1992;Chen et al., 1985;吴才来等,1996;周涛发等,2000)。由于所用 测试方法及所测对象的不同,故获得的年龄存在着 较大差异。近年来,报道了该区大量的高精度 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄数据(表 2),主要包括:吴 淦国等(2008)获得的(151.8±2.6) Ma(沙滩脚石英 二长斑岩)(148.2±3.1) Ma(冬瓜山辉石二长岩), (146.4±4.3) Ma(新桥二长岩锆石)(144.2±2.3) Ma(凤凰山花岗闪长岩)(142.8±1.8) Ma(小铜官 山石英二长闪长岩);王彦斌等(2004a)获得的 (141.3±2.9) Ma和(133.3±3.2) Ma(小铜官山石 英闪长岩)(140.4±2.2) Ma(新桥石英二长闪长 岩,王彦斌等,2004b)(142.9±1.1) Ma(朝山辉石 闪长岩,王彦斌等,2004c);楼亚儿等(2006)报道了 鸡冠石花岗闪长岩、小铜官山石英闪长岩的 SHRIMP年龄,分别为(135.5±4.4) Ma、(139.5± 2.9) Ma。徐晓春等(2008)获得了狮子山矿田主要 成矿岩体的年龄,从(132.7±4.8) Ma至(139.1± 2.3) Ma;谢建成等(2008)对铜陵矿集区中生代岩体 进行了锆石 U-Pb LA-ICP-MS 年代学研究,所获的 成矿岩体的年龄主要在(135.1±3.3) Ma与(141.9 ±4.5) Ma之间。

表 2 铜陵及宁芜矿集区主要成矿岩体、火山岩及成矿年代一览表

| Table 2         Chronological data of ore-forming intrusions , volcanic rocks and | nd mineralization |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------|
|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------|

in the Tongling and Ningwu ore concentration areas

| 测试对象    | 地点   | 方法                                   | 年龄/Ma           | 来源                        |
|---------|------|--------------------------------------|-----------------|---------------------------|
| 火山岩     | 宁芜   | 锆石 SHRIMP                            | 127±1           | 张旗等,2003                  |
| 火山岩     | 宁芜   | 锆石 SHRIMP                            | 131±4           | 张旗等,2003                  |
| 石英闪长岩   | 小铜官山 | 锆石 SHRIMP                            | $141.3 \pm 2.9$ | 王彦斌等 , 2004a              |
| 石英闪长岩   | 小铜官山 | 锆石 SHRIMP                            | 133.3±3.2       | 王彦斌等 , 2004a              |
| 石英二长闪长岩 | 新桥   | 锆石 SHRIMP                            | $140.4 \pm 2.2$ | 王彦斌等 , 2004b              |
| 辉石闪长岩   | 朝山   | 锆石 SHRIMP                            | $142.9\pm1.1$   | 王彦斌等 , 2004c              |
| 花岗闪长岩   | 鸡冠石  | 锆石 SHRIMP                            | $135.5\pm4.4$   | 楼亚儿等 , 2006 ; 杜扬松等 , 2007 |
| 石英闪长岩   | 小铜官山 | 锆石 SHRIMP                            | $139.5\pm2.9$   | 楼亚儿等 , 2006 ; 杜扬松等 , 2007 |
| 石英闪长岩   | 铜官山  | 锆石 LA-ICP-MS                         | $137.5 \pm 1.1$ | Xu et al. , 2004          |
| 闪长岩包体   | 铜官山  | ) 锆石 LA-ICP-MS                       | $137.5 \pm 2.4$ | Xu et al. , 2004          |
| 花岗闪长岩   | 胡村   | ○ 锆石 SHRIMP                          | $140.0\pm2.6$   | Xu et al. , 2004          |
| 花岗闪长岩   | 南洪冲  | 锆石 LA-ICP-MS                         | $141.2\pm1.6$   | 杨小男等,2007                 |
| 辉石闪长岩   | 白蓥山  | 锆石 SHRIMP                            | $139.1 \pm 2.3$ | 徐晓春等,2008                 |
| 石英二长闪长岩 | 冬瓜山  | 锆石 SHRIMP                            | $135.5\pm2.2$   | 徐晓春等,2008                 |
| 石英二长闪长岩 | 鸡冠石  | 锆石 SHRIMP                            | $132.7 \pm 4.8$ | 徐晓春等,2008                 |
| 石英二长闪长岩 | 西狮子山 | 锆石 LA-ICP-MS                         | $135.1\pm3.3$   | 谢建成等,2008                 |
| 石英二长闪长岩 | 鸡冠石  | 锆石 LA-ICP-MS                         | $136.1 \pm 3.0$ | 谢建成等,2008                 |
| 花岗闪长岩   | 新华山  | 锆石 LA-ICP-MS                         | $141.0\pm4.5$   | 谢建成等,2008                 |
| 花岗闪长岩   | 南洪冲  | 锆石 LA-ICP-MS                         | $141.9\pm4.5$   | 谢建成等,2008                 |
| 花岗闪长岩   | 向阳村  | 锆石 LA-ICP-MS                         | $141.6\pm3.7$   | 谢建成等,2008                 |
| 闪长斑岩    | 苗家   | 锆石 LA-ICP-MS                         | $137.3\pm2.9$   | 谢建成等,2008                 |
| 辉钼矿     | 龙虎山  | Re-Os                                | $139.02\pm0.34$ | Sun et al. , 2003         |
| 辉钼矿     | 南阳山  | Re-Os                                | $140.2\pm1.6$   | 毛景文等,2004                 |
| 辉钼矿     | 大团山  | Re-Os                                | $139.1 \pm 2.7$ | 梅燕雄等,2005                 |
| 辉钼矿     | 沙滩脚  | Re-Os                                | $141.9\pm0.4$   | 毛景文等,2004                 |
| 石英二长斑岩  | 沙滩脚  | 锆石 SHRIMP                            | $151.8\pm2.6$   | 吴淦国等,2008                 |
| 辉石二长岩   | 冬瓜山  | 锆石 SHRIMP                            | $148.2 \pm 3.1$ | 吴淦国等,2008                 |
| 二长岩     | 新桥   | 锆石 SHRIMP                            | $146.4 \pm 4.3$ | 吴淦国等,2008                 |
| 花岗闪长岩   | 凤凰山  | 锆石 SHRIMP                            | $144.2 \pm 2.3$ | 吴淦国等 ,2008                |
| 石英二长闪长岩 | 小铜官山 | 锆石 SHRIMP                            | $142.8 \pm 1.8$ | 吴淦国等 ,2008                |
| 玢岩铁矿钠长石 | 宁芜   | <sup>40</sup> Ar/ <sup>39</sup> Ar 法 | $122.9\pm0.2$   | 余金杰等,2002                 |
| 玢岩铁矿钠长石 | 宁芜   | <sup>40</sup> Ar/ <sup>39</sup> Ar 法 | $124.9\pm0.3$   | 余金杰等,2002                 |

根据以上高精度年代学以及区内其他相关年代 学数据(表1、表2)来分析,铜陵地区与成矿相关的 岩体的成岩时代大部分集中在140~150 Ma,为晚 侏罗世末或早白垩世早期,与该地区的辉钼矿 Re-Os 年龄(137.0±0.19)~(141.9±0.4) Ma(Sun et al.,2003;毛景文等,2004;梅燕雄等,2005)相吻合。 据此认为,铜陵地区的中生代成岩成矿作用主要集 中在晚侏罗世中-晚期,而早白垩世成岩成矿作用则 主要发生在相邻的宁芜火山岩区。在宁芜火山岩 区,与成矿相关的火山岩的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年 龄为127~131 Ma(张旗等,2003),宁芜玢岩铁矿的 成矿年龄为(122.9±0.2)~(124.9±0.3) Ma(钠长 石<sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar 法,余金杰等,2002)。

焦冲矿区闪长玢岩锆石 LA-ICP-MS U-Pb 同位 素测试结果表明,铜陵地区除存在晚侏罗世末与成 矿相关的高钾钙碱性侵入岩浆作用外,还应有一期 早白垩世与金硫成矿相关的岩浆侵入作用,其形成 时代为(128±2)Ma,与宁芜火山岩(127~131 Ma) 的形成时代一致。

吴淦国等(2008)根据成矿岩体的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄提出了铜陵矿集区构造和岩浆演化的动 力学模型。早-中侏罗世 Izanagi 板块向欧亚板块俯 冲而导致地壳增厚,致使岩石圈拆沉并发生玄武质 岩浆底侵,引起下地壳熔融而产生了花岗质岩浆。 之后发生的岩石圈伸展作用导致晚侏罗世(约150~ 140 Ma)的岩浆侵入作用发生在铜陵地区,而早白垩 世(约130~120 Ma)的岩浆作用则迁移至宁芜地 区,形成了晚白垩世火山盆地。焦冲矿区闪长玢岩 的同位素年龄表明,早白垩世除宁芜地区的岩浆作 用之外,铜陵地区还存在由于持续的岩石圈伸展作 用而导致的与成矿相关的岩浆侵入活动。

铜陵矿集区的成矿以 Cu、S、Au、Fe、Pb-Zn 矿床 组合为主,其中,铜、金、硫、铁矿化较强的部位集中 分布在铜官山、狮子山、新桥、凤凰山和沙滩脚等 5 个矿田内,主要矿床类型有斑岩型、矽卡岩型及热液 型。赋矿空间以岩体接触带、层间滑脱带为主,其中 以五通组(D<sub>3</sub><sup>w</sup>)和石炭系(C<sub>2+3</sub>)层间滑脱带内赋存 的层状、似层状矽卡岩型矿床最具特色,形成了冬瓜 山、新桥、天马山等铜、金、硫层控矽卡岩型矿床。除 层控矽卡岩之外,下二叠统栖霞组(P<sub>1</sub>q)至中三叠统 (T<sub>2</sub>)之间的层间滑脱构造空间也是矽卡岩型及热液 型矿床的重要赋矿层位。根据铜陵矿集区矿床的空 间分布特点,金属矿化类型在垂向上具明显分带性, 主要表现为自下而上分别为斑岩型、层控砂卡岩型 及热液型的分布规律。毛景文等(2004)测试了 16 件辉钼矿样品,得到的模式年龄分布于(134.7± 2.3)Ma 至(142.3±2.3)Ma 之间,并指出,长江中 下游地区的 Cu-Mo-Au(Fe)似层状矿体和斑岩型-砂 卡岩型矿体都是同一时期和同一过程的产物。焦冲 金硫矿床主要表现出中-高温热液型矿床的特征,不 同于铜陵地区典型的斑岩型-矽卡岩型或层控矽卡 岩型矿床,应该属于铜陵矿集区斑岩型-矽卡岩型-热 液型垂向分带的最上带。因此,焦冲热液型金硫矿 床可能与铜陵地区主要的层控砂卡岩型矿床具有一 定的差异性,据其与成矿岩体的相关性推断,该矿床 应该属于比斑岩型-矽卡岩型矿床更新的成矿系统。 该矿床与宁芜地区跟火山岩有关的玢岩型铁矿的相 互关系还需做进一步研究。

#### 5.2 其他岩浆锆石年龄数据的讨论

对焦冲矿区闪长玢岩中不同类型锆石所进行的 LA-MC-ICP-MS U-Pb 同位素年龄测定 除获得了闪 长玢岩的形成年龄(128±2)Ma外,还识别出多个 老的锆石年龄数据。闪长玢岩中存在着(2864±33) Ma及(2616±27)Ma(不一致年龄)的锆石核(图 5A),结合吴淦国等(2008)在铜陵地区年龄值为 (151.8±2.6)~(142.8±1.8)Ma的花岗岩内识别 出了老锆石核(2196~2561 Ma,不一致年龄),表明 铜陵乃至下扬子地区存在有于新太古代形成的克拉 通岩石圈(高山等,2001 涨旗等,2003)。

除新太古代锆石年龄数据外 还获得了几组元古 代锆石的年龄数据 (1931 ± 22)~(1870 ± 21) Ma(4 个点一致年龄)以及(808±12)~(600±8)Ma(6个点 一致年龄 ) 图 5A )。这些一致年龄值代表了继承性 岩浆锆石形成的时代。从谐和图上分析 2 个不一致 年龄〔(1672±19) Ma 及(1602±20) Ma〕,可能是早 期形成的锆石受到了晚期岩浆作用的改造,其下交 点的年代可能为新元古代 代表了改造岩浆作用的 时代 而新元古代期间 该区的岩浆作用确实比较发 育。同样, 中元古代的2个不一致年龄〔(1158±22) Ma 和(1145±20) Ma ],可能代表了中生代岩浆作用 对古元古代继承性岩浆锆石的改造。因此 ,在该区 获得的老的继承性岩浆锆石的年代学信息表明 ,在 元古代的不同时期,铜陵地区的岩浆作用同样比较 发育 特别是古元古代及新元古代多个锆石一致年 龄的存在说明该区同时代的岩浆作用颇为明显。

通过上述对焦冲闪长玢岩中前寒武纪锆石年龄

数据的分析以及与铜陵矿集区其他跟成矿有关的高 钾钙碱性侵入岩进行对比,表明焦冲闪长玢岩虽然 与成矿关系密切的侵入岩体在形成时代及岩性上具 有一定的差异性,但其中都存在前寒武纪较老锆石 的参与。因此,焦冲闪长玢岩在物质来源方面还可 与铜陵矿集区内跟成矿有关的中生代岩浆作用产物 进行进一步的对比研究,以探寻焦冲一带是否存在 与大规模成矿作用相关的岩浆活动背景。

在焦冲闪长玢岩中还获得了中-晚石炭世4个 近一致的锆石年龄数据,分别为(328±4)Ma、(317 ±5)Ma、(313±6)Ma及(309±4)Ma(图5A、B)。 显示这些年龄的锆石的环带比较发育,Th/U比值集 中在0.43~0.49之间,表现出明显的岩浆锆石特 征,可能代表了一期岩浆作用事件,但是否代表该区 存在大规模与成矿相关的中-晚石炭世岩浆作用还 需讨论。众所周知,在长江中下游地区,在上泥盆统 五通组砂岩之上的中-上石炭统黄龙组-船山组灰岩

中 普遍赋存有层状或似层状铜多金属矿床。关于 该类型矿床的成因及形成的构造背景,主要存在2 种观点:① 与海西期海底火山作用或热水沉积相关 的矿床( 阎学义等,1977; 顾连兴,1984; 顾连兴等, 1986;岳文浙等,1993;周涛发等,2000;Xu et al., 2001 :曾普胜等 2002 :2005 ); ② 燕山期与花岗质岩 浆活动相关的矽卡岩-热液(或沉积-热液改造 )矿床 (刘湘培等,1988;常印佛等,1991;翟裕生等,1992; 黄许陈等 1993 唐永成等 1998 Pan et al. 1999 毛 景文等,2004;Zang et al., 2004)。也有学者认为, 在铜陵地区以燕山期岩浆流体为主的成矿过程中, 有海西期同生沉积的硫化物参与且进入到该成矿系 统内(唐永成等,1998),并相应提出了叠加成矿作用 的观点。引起这些争议的主要原因是,该地区尚缺 乏明显的中-晚石炭世岩浆作用的证据 即使见有在 相关层位中有火山作用物质存在的报道(朱金初等, 1981 :顾连兴 1984 常印佛等 1991 ;翟裕生等 1992 ;





Fig. 6 Distribution of the ore body between  $D_3w$  and  $C_{2+3}$  in the Jiaochong Au-S deposit

朱雅林,1992),也鲜见高精度的年龄数据。由焦冲 矿区闪长玢岩获得的中-晚石炭世锆石 U-Pb 年龄数 据可为该区晚古生代岩浆作用的研究提供一些启 示。根据焦冲金硫矿区的勘查资料(图6),在该矿区 的深部,除下二叠统栖霞组硅质层之下所赋存的金 硫铅锌矿体外,深部钻探已在五通组(D<sub>3</sub>w)与C<sub>2+3</sub> 的界面上获得了含金铜胶状黄铁矿体,表明焦冲矿 区存在至少2层不同类型的矿体,其成因以及与中-晚石炭世锆石 U-Pb 年龄之间的关系尚需做进一步 的研究。

在所获的锆石 U-Pb 测年数据中 还有(195±4) Ma、(169±2) Ma 及(161±4) Ma 三个一致年龄值 以及(181±4) Ma 近一致年龄值,分布相对分散,但 可说明铜陵地区可能存在早-中侏罗世岩浆作用。 毛景文等(2007;2008)总结了华南中生代金属矿床 及南岭钨锡大规模成矿作用形成的主要时代 提出 了华南地区中生代主要金属矿床成矿出现于 3 个阶 段,即晚三叠世(230~210 Ma),中-晚侏罗世(170~ 150 Ma)和早-中白垩世(134~80 Ma)。其中,中-晚 侏罗世(170~150 Ma)由于太平洋板块的持续挤压, 岩石圈加厚并形成了一定规模的岩浆作用与成矿作 用。在铜陵矿集区以南的赣东北的德兴及北武夷地 区 存在有中₋晚侏罗世斑岩型成矿作用的记录〔德○ 兴斑岩铜矿辉钼矿 Re-Os 年龄为(170.4±1.8) Ma, Lu et al., 2005 冷水坑银铅锌矿床绢云母 Ar-Ar 年 龄为(163±1)Ma ,孟祥金等 ,2007 )。根据华南成矿 作用的时间分布规律以及铜陵地区存在中侏罗世岩 浆锆石,可认为铜陵地区应该存在与中-晚侏罗世相 对应的成矿作用。

### 6 结 论

本文对焦冲矿区与成矿相关的闪长玢岩进行了 年代学研究,据此得出了如下主要结论:

(1) 焦冲矿区内闪长玢岩的 LA-MC-ICP-MS 锆 石 U-Pb 同位素年龄为(128±2) Ma ,表明铜陵地区 除晚侏罗世(约140~150 Ma)与大规模成矿作用相 关的高钾钙碱性岩浆作用外,还存在一期早白垩世 与金硫多金属成矿作用相关的岩浆活动,以前认为, 该时期的成岩成矿作用只发生在与铜陵矿集区相邻 的宁芜火山盆地。

(2)闪长玢岩中4个中-晚石炭世岩浆锆石的一 致年龄(309~328 Ma)表明该区可能存在海西期的 岩浆作用,但岩浆作用的规模、背景及其与成矿的关 系还需进一步研究。

(3) 古元古代 4 个一致年龄(1870~1931 Ma)以 及新元古代 6 个一致年龄(600~808 Ma)说明,古元 古代及新元古代的岩浆作用在铜陵地区明显发育, 同时说明,中生代侵入岩的形成有较多的新元古代 火成岩源岩的参与。

志 谢 本研究得到铜陵紫金矿业有限公司资 助项目"安徽铜陵焦冲金(硫)多金属矿及金牛山金 矿成因与成矿预测研究"的支持。天津地质矿产研 究所同位素实验室为本文年代学数据测定提供了大 力帮助。在此一并表示感谢!

参考文献/References

- 安徽省地质矿产局, 1984. 安徽省区域地质志[M]. 北京:地质出版 社, 721页.
- 常印佛,刘湘培,吴言昌. 1991. 长江中下游铜铁成矿带[M]. 北京: 地质出版社. 379页.
- 储国正. 1992. 铜陵狮子山矿田构造及其控岩控矿作用的研究[J]. 安徽地质, ((2): 34-46.
- 杜杨松,曹 毅,袁万明,楼亚儿,李顺庭,鲁 鑫.2007. 安徽沿 江地区中生代碰撞后到造山后岩浆活动和壳幔相互作用——来 自火山-侵入杂岩和岩石包体的证据[J]. 岩石学报,23(6): 1294-1302.
- 高 山, Qiu Y N, 凌文黎, McNaughton N J, Groves D I. 2001. 崆岭
   高级变质地体单颗粒锆石 SHRIMP U-Pb 年代学研究——扬子
   克拉通>3.2 Ga 陆壳物质的发现[J]. 中国科学(D辑), 31(1):
   27-35.
- 顾连兴. 1984. 江西武山中石炭世海相火山岩及块状硫化物矿床[J]. 桂林冶金地质学院学报.(4):91-102.
- 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(22):176-186.
- 郭文魁. 1957. 论安徽铜官山铜矿成因[J]. 地质学报. 37(3):317-332.
- 郭文魁. 1963. 某些金属矿床的原生分带及其成因[J]. 地质学报. 43(3):247-270.
- 郭文魁, 刘兰笙, 俞志杰. 1982. 中国东部成矿域及成矿期的基本特 (逛 J]. 矿床地质, 1(1):1-14.
- 郭宗山. 1957. 扬子下游某些夕卡岩型铜矿床[J]. 地质学报. 37(1):1-10.
- 黄许陈,储国正. 1993. 铜陵狮子山矿田多位一体(多层楼)模式[J]. 矿床地质,12(3):221-230.
- 李怀坤,耿建珍,郝 爽,张永清,李惠民.2009.用激光烧蚀多接

收器等离子体质谱仪(LA-MC-ICPMS)测定锆石 U-Pb 同位素年龄的研究 J]. 矿物学报,29(增刊):77.

- 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.130页.
- 刘湘培,常印佛,吴言昌. 1988. 论长江中下游地区成矿条件和成矿 规律[J]. 地质学报,2:167-177.
- 楼亚儿,杜杨松.2006. 安徽繁昌中生代侵入岩的特征和锆石 SHRIMP测年J].地球化学,35(4):333-345.
- 毛景文, Stein H, 杜安道, 周涛发, 梅燕雄, 李永峰, 臧文栓, 李进 文. 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.
- 毛景文,谢桂青,郭春丽,陈毓川.2007. 南岭地区大规模钨锡多金 属成矿作用:成矿时限及地球动力学背景[J]. 岩石学报,23 (10):2329-2338.
- 毛景文,谢桂青,郭春丽,袁顺达,程彦博,陈毓川.2008.华南地区 中生代主要金属矿床时空分布规律和成矿环境 J].高校地质学 报,14(4):510-526.
- 梅燕雄,毛景文,李进文,杜安道.2005. 安徽铜陵大团山铜矿床层 状砂卡岩矿体中辉钼矿 Re-Os 年龄测定及其地质意义[J]. 地球 学报,26(4):327-331.
- 孟祥金,侯增谦,董光裕,刘建光,屈文俊,杨竹森,左力艳,万禄进,肖茂章.2007.江西金溪熊家山钼矿床特征及其 Re-Os 年龄
   [J].地质学报,81(7):946-951.
- 唐永成,吴言昌,储国正,邢凤鸣,王永敏,曹奋扬,常印佛,等. 1998. 安徽沿江地区铜多金属矿床地质[M].北京:地质出版 社.351页.
- 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(4)298-304.
- 王彦斌,刘敦一,蒙义峰,曾普胜,杨竹森,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(2):169-173.
- 王彦斌,刘敦一,曾普胜,杨竹森,蒙义峰,田世洪.2004c. 安徽铜 陵地区幔源岩浆底侵作用的时代——朝山辉石闪长岩锆石 SHRIMP 定年 J]. 地球学报 25(4):423-427.
- 吴才来,周珣若,黄许陈,张成火,黄文明.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.
- 吴淦国,张达,臧文拴. 2003. 铜陵矿集区构造滑脱与分层成矿特 征研究[J]. 中国科学(D辑), 33(4): 300-308.
- 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(5):630-645.
- 谢建成,杨晓勇,杜建国,孙卫东.2008,铜陵地区中生代侵入岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年代学及 Cu-Au 成矿指示意义[J]. 岩石 学报,24:1782-1800.
- 徐晓春,陆三明,谢巧勤,柏 林,储国正. 2008. 安徽铜陵狮子山

矿田岩浆岩锆石 SHRIMP 定年及其成因意义[J]. 地质学报,82 (4):500-509.

- 阎学义,袁成祥,鄢庆南,王则田,李南洋,容华贝,富士谷.1977. 长江中下游成矿带石炭纪海底火山喷发沉积黄铁矿型铜矿床的 地质特征[]]南京大学学报(自然科学版),24(1):43-672.
- 杨小男,徐兆文,徐夕生,凌洪飞,刘苏明,张 军,李海勇.2007. 安徽铜陵狮子山矿田岩浆岩锆石 U-Pb 年龄意义[J].岩石学报, 23(6):1543-1551.
- 余金杰,毛景文. 2002. 宁芜玢岩铁矿钠长石 Ar-Ar 定年及意义[J]. 自然科学进展,12(10):1059-1063.
- 岳文浙,业治铮.1993.长江中下游威宁期沉积地质与块状硫化物矿 床[M].北京,地质出版社.9-126.
- 曾普胜,裴荣富,侯增谦,蒙义峰,杨竹森,王训诚,田世洪,徐文艺,姜章平.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,裴荣富,侯增谦,蒙义峰,杨竹森,田世洪,徐文艺,王训 诚. 2005. 安徽铜陵矿集区冬瓜山矿床:一个叠加改造型铜矿 [J]. 地质学报,79(1):106-113.
- 翟裕生,姚书振,林新多,周珣若,万天丰. 1992. 长江中下游地区铁铜(金)成矿规律[M]. 北京:地质出版社. 177-190.
- 张 达,吴淦国,狄永军,臧文拴,邵拥军,余心起,张祥信,汪群 峰. 2006. 铜陵凤凰山岩体 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄与构造变 形及其对岩体侵位动力学背景的制约[J]. 地球科学,31(6): 823-829.
- 张 旗,简 平,刘敦一,王元龙,钱 青,王 焰,薛怀民.2003. 宁芜火山岩的锆石 SHRIMP 定年及其意义[J].中国科学(D 辑),33(4):309-314.
- 张志辉. 2009. 安徽铜陵焦冲金硫矿床地质特征及成因研究(硕士论 文 [D]. 北京:中国地质大学.
- 周泰禧,李学明,赵俊深,张富陶.1987.安徽铜陵铜宫山矿田火成 岩的同位素地质年龄[J].中国科学技术大学学报,17(3):403-407.
- 周泰禧,陈江峰,李学明,Foland K A. 1988. 安徽省印支期岩浆活动质疑 J]. 岩石学报,(3):46-53.
- 周涛发,岳书仓.1996.月山地区铜成矿作用的同位素地球化学研究 [J].矿床地质,16(4):341-350.
- 周涛发, 岳书仓, 袁 峰, 刘晓东, 赵 勇. 2000. 长江中下游两个系 列铜、金矿床及其成矿流体系统的氢、氧、铅同位素研究[J]. 中 国科学(D辑), 30( 增刊): 122-128.
- 朱金初,张承华.1981. 江西东乡枫林石炭纪火山岩及铜、钨矿床的 成因[J] 南京大学学报(自然科学版),(2):269-282.
- 朱雅林. 1992. 安徽铜官山背斜石炭纪地层中火山岩的发现及其意 义[J]. 地质与勘探,(9):8.
- Chen J F , Foland K A and Zhou T X. 1985. Mesozoic granitoids of the Yangtze fold belt , China : Isotopic constraints on the magma source. A ]. In : Wu L R , Yang T M , Yuan K R , et al. , eds.

The crust : The significance of granite gneisses in the lithosphere [C]. Athens: Theophrastus Publications. 217-237.

- Di Y J, Wu G G, Zhang D, Song B, Zang W H, Zhang Z Y and Li J W. 2005. SHRIMP U-Pb zircon geochronology of Xiaotongguanshan and Shatanjiao rock bodies and its petrological implication in Tongling area [J]. Acta Geologica Sinica, 79(6):801-808.
- Lu J J , Hua R M and Yao C L. 2005. Re-Os age for molybdenite form the Dexing porphyry Cu-Au deposit in Jiangxi Province, China J. Geochim. Cosmochim. Acta, 69(Suppl. A):882.
- Ludwig K R. 1999. Using Isoplot/EX, version 2, a geochronological toolkit for Microsoft Exce[ M ]. Berkeley : Geochronological Center Special Publication, 1:47.
- Pan Y M and Dong P. 1999. The Lower Changjiang (Yangzi/Yangtze River ) metallogenic belt, east central China : Intrusion- and wall a all. rock-hosted Cu-Fe-Au , Mo , Zn , Pb , Ag deposits J ]. Ore Geolo-

gy Review, 15:177-242.

- Sun W D , Xie Z , Chen J F , Zhang X , Chai Z F , Du A D , Zhao J S , Zhang C H and Zhou T F. 2003. Os-Os dating of copper and molybdenum deposits along the middle and lower reaches of Yangtze River, China J. Econ. Geol., 98(1):175-180.
- Xu G and Zhou J. 2001. The Xinqiao Cu-S-Fe-Au deposit in the Tongling mineral district, China: Synorogenic remobilization of a stratiform sulfide deposit J]. Ore Geology Reviews , 18:77-94.
- 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(19): 3073-2082.
- Zang W S, Wu G G, Zhang D, Li J W, Zhang X X, Liu A H and Zhang Z Y. 2004. Genesis of the Xinqiao gold-sulfide orefield, Anhui Province, China J]. Acta Geologica Sinica, 78(2): 548-557.