http://www.geojournals.cn/dzxb/ch/index.aspx

安徽庐枞盆地含矿岩浆岩锆石 U-Pb 年龄及其对成矿时限的约束

曾键年[1)]，覃永军[1)]，郭坤一[2)]，陈国光[2)]，曾勇[2)]

1）中国地质大学(武汉)资源学院，武汉，430074；

2）中国地质调查局南京地质调查中心，南京，210016

内容提要：安徽庐枞盆地 Fe-Cu-Au 成矿作用与燕山期岩浆活动有密切的时间、空间和成因联系。本文通过对该区含矿岩浆岩锆石 U-Pb 年龄的研究并以此约束成矿作用时限，表明庐枞盆地金属成矿作用主要发生于 135～126 Ma，其成矿地球动力学背景对应中国东部中生代发生的构造体制大转折和岩石圈大拆沉两大地质事件。

关键词：含矿岩浆岩；锆石 U-Pb 年龄；Fe-Cu-Au 成矿；成矿时限；安徽庐枞地区

成矿年代学研究是矿床成因分析、阐明成矿规律和深刻理解与成矿作用关联地球动力学背景的关键，因此成为近十年来矿床学研究的热点；近几年提出的中国东部中生代成矿大爆发这一重要认识，在很大程度上有赖于近期获得的一大批高精度年代学数据(Li et al.，2003；Yang et al.，2003；毛景文等，2003，2006；陈衍景等，2004)。但成矿年代精确测定技术方法受成矿过程形成矿物的限制，目前成熟技术仅限于辉钼矿 Re-Os 定年和钾长石、云母等单矿物 $^{40}Ar/^{39}Ar$ 定年。当矿床中不发育或不能挑纯足够分析数量的这些矿物时，难以获得精确成矿年代。尽管已有黄铁矿、闪锌矿等硫化物 Re-Os、Rb-Sr 定年的报道(Freydier et al.，1997；Stein et al.，2000；Yang et al.，2001；陈福坤等，2005；Han et al.，2007；谢建成等，2009)，但国内实验室对这些技术方法还处于探索阶段，远未达到实际研究中成熟运用的程度。

岩浆岩 SHRIMP 和 LA-ICPMS 锆石 U-Pb 精确定年技术的不断发展与日趋成熟，给我们提供了与岩浆活动有成因联系矿床精确定年的思路：通过含矿岩浆岩锆石 U-Pb 年龄对成矿时限进行精细约束。事实上，现有的大量含矿岩浆岩及相关的矿床年代学数据(毛景文等，2003，2006)已经证明这一思路的可行性。以长江中下游九瑞矿集区为例：城门山铜-钼矿床的含矿岩体锆石 U-Pb 年龄为 140.6±1.6 Ma(蒋少涌学术交流资料，2008)，矿床中辉钼矿 Re-Os 年龄为 140±2 Ma(吴良士等，1997)；武山铜矿床的含矿岩体锆石 U-Pb 年龄为 145.6±3.9 Ma(蒋少涌等，2008)，矿床中辉钼矿 Re-Os 年龄为 146.4±2.6 Ma(李进文等，2007)。在铜陵、宁芜-宁镇等矿集区，也有大量同位素精确定年资料证实含矿岩体锆石 U-Pb 年龄与成矿年代的一致性(毛景文等，2004；徐晓春等，2008；谢建成等，2009)。

长江中下游成矿带的庐-枞地区为凹陷火山岩盆地，发育大量的火山岩、潜火山岩和侵入岩以及相关的 Fe-Cu-Au 矿床。前人对这些火成岩组合的时代已做过锆石 U-Pb 定年(Wang et al.，2006；周涛发等，2008a；范裕等，2008)，为盆地内不同旋回火山活动、岩浆侵位的时间及时限提供了精确年代学制约。但这些年代学资料并未系统涉及与这些火成岩组合关联的含矿岩浆岩精确定年，不足以讨论盆地内相关的金属成矿时间格架；因此，需要在成矿地质特征深入研究基础上，进一步测定不同类型含矿岩浆岩的精确成岩年龄，才能精确约束相关的成矿作用时限。

1 庐枞盆地岩浆-成矿作用特征

1.1 岩浆作用特征

安徽庐(江)-枞(阳)盆地地处扬子陆块北东缘、

注：本文为中国地质调查局资源评价项目(编号 1212010781014，1212010660404)及中国地质大学地质过程与矿产资源国家重点实验室开放基金课题(编号 MGMR2001-1)资助成果。

收稿日期：2009-08-06；改回日期：2009-11-21；责任编辑：周健。

作者简介：曾键年，男，1956 年生。中国地质大学(武汉)教授，主要研究方向为矿床学、矿床地球化学和成矿规律与成矿预测。电话：027-87569780；Email：zengjn@163.net。

http://www.geojournals.cn/dzxb/ch/index.aspx

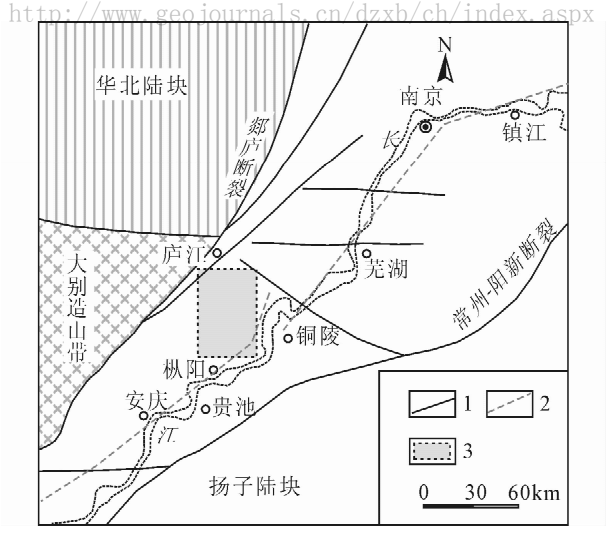

图 1　庐枞盆地大地构造位置略图

Fig. 1　Sketch tectonic position of Luzong basin

1—区域断裂; 2—长江断裂; 3—庐枞盆地

1—Regional fault; 2—Changjiang fault; 3—Luzong basin

比邻大别造山带东段,位于中国东部下扬子断陷带内(常印佛等,1991;翟裕生等,1992),夹持于郯庐断裂带与长江断裂带之间(图 1),属继承式中生代陆相盆地(任启江等,1991),是长江中下游成矿带的重要铁(铜)矿集区(吴明安等,2007)。区内早白垩世(134.8±1.8～127.1±1.2 Ma)喷溢的火山岩出露面积达 800 km^2 左右(周涛发等,2008a),为一套包括粗玄岩-玄武粗安岩-粗面岩的富碱橄榄安粗岩系(王德滋等,1996);分早期龙门院-砖桥喷溢旋回和晚期双庙-浮山喷溢旋回(任启江等,1991;袁峰等,2008),由老至新形成盆地内的龙门院组(K_1l)、砖桥组(K_1zh)、双庙组(K_1sh)和浮山组(K_1f)火山岩系地层,各组之间均为喷发不整合接触。

庐枞盆地与成矿关系密切的火成岩是中国东部中生代燕山期岩浆大爆发的产物(周涛发等,2008b)。有关的文献(王强等,2001;Wang et al.,2006;谢智等,2007;刘珺等,2007;袁峰等,2008)和最近研究[1]显示,庐枞盆地燕山期与成矿有关岩浆是形成于同一深部过程(软流圈上涌和岩石圈拆沉)不同源区的两个岩浆系列:①源自地幔、属于富碱橄榄安粗岩系(谢智等,2007;刘珺等,2007;袁峰等,2008)的火山-潜火山岩及类似侵入岩(图 2a);②源自底侵玄武质下地壳、具埃达克质特征(王强等,2001;张旗等,2001;Wang et al.,2006;Ling et al.,2009)的钙碱性侵入岩(图 2b)。两个岩浆系列的地球化学特征存在明显区别(王强等,2001;谢智等,2007)。由于富碱橄榄安粗质岩浆喷出晚于钙碱性\埃达克质岩浆侵位时间,区内出露岩浆岩主要为富碱橄榄安粗岩系;钙碱性埃达克质侵入岩在火山岩盆地北西缘局部出露,地质-地球

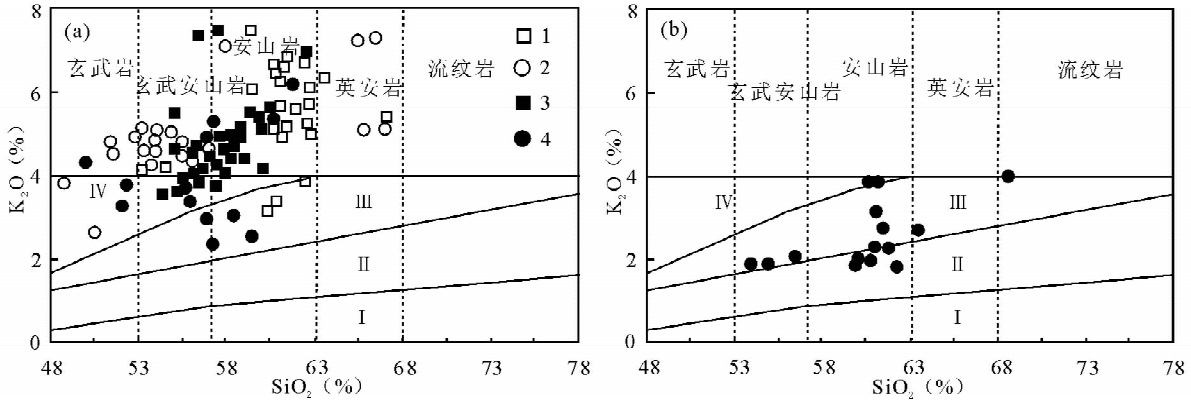

图 2　庐枞盆地两个岩浆系列的 SiO_2-K_2O 图解

Fig. 2　The SiO_2-K_2O diagram of two magma series in Luzong basin

(a)—庐枞盆地橄榄玄粗岩系;(b)—庐江沙溪地区钙碱性侵入岩;Ⅰ—低钾(拉斑)系列;Ⅱ—钙碱性系列;Ⅲ—高钾钙碱性系列;Ⅳ—橄榄玄粗岩(钾玄岩)系列;1—浮山火山旋回;2—双庙火山旋回;3—砖桥火山旋回;4—龙门院火山旋回;数据来源:(a)据安徽省地质矿产局,1981,1∶5 万区域地质调查报告(义津桥幅、枞阳县幅、庐江县幅、矾山镇幅);任启江等,1991;吴明安等,1996;(b)据徐兆文等 2000;王强等,2001

(a)—Shoshonitic series in Luzhong basin; (b)—calcium-alkalinein vasion rock of Shaxi, Lujiang; Ⅰ—low-K series; Ⅱ—calc-alkaline series; Ⅲ—high-K calc-alkaline series; Ⅳ—shoshonitic rocks (shoshoonite) series; 1—Fushan formation; 2—Shuangmiao formation; 3—Zhuanqiao formation; 4—Longmenyuan formation. Data sources: (a) after Bureau of Geological and Mineral Exploration of Anhui Province, 1981, 1∶50000 investigation report of regional geology (Yijinqiao, Zongyang, Lujiang, Fanshan); Ren Qijiang et al., 1991; Wu Mingan et al., 1996; (b) after Wang Qiang et al., 2001; Xue Zhaowen et al., 2000

http://www.geojournals.cn/dzxb/ch/index.aspx

化学信息显示(刘琨等,2007;吴明安等,2007)盆地内深部存在类似侵入岩。

1.2 成矿作用特征

燕山期构造-岩浆活动在庐枞盆地形成丰富的金属矿产,主要矿种有铁、铜、金、铅、锌、银等,不同规模矿床(点)近百个。根据这些矿床地质-地球化学特征,以及矿床成因、控矿地质条件等,区内具有工业规模的金属矿床可划分为玢岩型矿床、沉积-热液改造型矿床、脉状热液型矿床和斑岩型矿床 4 种矿床类型(表 1)。这些矿床类型详细的成矿地质背景请参见有关文献(黄清涛等,1989;常印佛等,1991;翟裕生等,1992;徐兆文等,1992;唐永成等,1998;吴明安等,1996,2007;Wang et al.,2006),本文仅简述其含矿岩浆岩特征。

表 1 庐枞盆地主要矿床类型成矿地质特征

Table 1 The geological characteristics of major ore deposit types in Luzong basin

矿床类型	玢岩型矿床	沉积-热液改造型矿床	斑岩型矿床	脉状热液型矿床
控矿地层	砖桥组(K_1zh)	东马鞍山组(T_2d)、龙门院组(K_1l)、磨山组(J_1m)	罗岭组(J_2l) 高家边组(S_1g)	砖桥组(K_1zh) 双庙组(K_1sh)
控矿构造	NNE、NW、EW 向断裂、火山穹窿,岩体顶部裂隙带,接触带构造	NE 向基底隆起带,NNE、NW、NE 向断裂,火山环状断裂,弧形断裂	NNE、NE、NW 向断裂,背斜核部,岩体接触带	NW、NWW、SN、NE 向低序次断裂破碎带
含矿岩浆岩	粗安斑岩 辉石粗安玢岩	石英正长岩、正长斑岩、粗安斑岩	石英闪长斑岩、黑云母闪长斑岩	正长岩类脉岩
矿体形态	透镜体、似层状、扁豆状,西倾	透镜状、似层状	钟状、透镜状	脉状为主
围岩蚀变	垂向自上而下:辉石、碱性长石岩化带—硬石膏、辉石岩化带—黄铁矿化带—硬石膏化带—硅化带—泥化带—水云母化带	矽卡岩化、金云母化、钾长石化、绿泥石化、高岭土化、硅化	中心向外:钾质蚀变带—钾质蚀变与青磐岩化叠加带—石英～绢云母化带—青磐岩化带	硅化、绿泥石化、碳酸盐化、镜铁矿化、高岭土化、绢云母化、
矿化分带	垂向自上而下:无矿化—浸染状磁铁矿化—黄铁矿化带—高岭土、蒙脱石化带	上部浅色蚀变-矿化带,中部矽卡岩、大理岩蚀变-矿化带,下部接触热液蚀变-矿化带	从中心向外:磁铁矿、辉铜矿、黄铁矿、黄铜矿、斑铜矿、自然金、黄铁矿	—
成因	矿浆-岩浆热液	沉积-热液叠加改造	岩浆热液	构造-岩浆热液
规模	大、中、小型	大型	大、中型	中、小型
典型矿床	罗河、大鲍庄、泥河 Fe-Cu 矿床	龙桥 Fe-Cu 矿床	沙溪 Cu-Au 矿床	雨坛、朱家凹、井边、石门庵 Cu-Au 矿床

注:根据吴明安等(2007)资料和本文矿床地质调查改编。

玢岩型矿床:主要为分布于庐枞盆地中部—西北部的罗河、泥河、大鲍庄、杨山一带 Fe-Cu 矿床,含矿岩浆岩为粗安玢岩或辉石粗安玢岩,受控于火山机构发育的断裂系统,岩相学和地球化学特征均表明(黄清涛等,1989),其成因与火山岩浆活动相联系,形成于砖桥旋回晚期(黄清涛,1984)。矿化主要发育于岩体顶部裂隙带(图 3c)以及岩体与地层接触带,成矿地质特征与玢岩铁矿模式(宁芜研究项目编写小组,1978)类似;罗河铁矿由岩浆熔离矿浆形成的矿体,是含矿岩体与该类型矿床成因联系的直接证据。

沉积-热液改造型矿床:典型矿床是位于庐枞盆地北部的龙桥 Fe-Cu 矿床,控矿构造为 NE 向基底隆起带和 NNE、NW、NE 向断裂、火山环状断裂、弧形断裂等一系列不同控矿级别、不同序次的地质构造(吴明安等,1996,2007)。矿区内广泛分布龙门院-砖桥旋回形成的火山-潜火山岩,岩石类型主要为(角闪)粗安岩和粗安斑岩。矿区内侵入岩主要是呈岩株或岩枝状分布于矿床底部的正长岩体,钻孔揭露资料显示该岩体已侵位到砖桥组火山岩中,表明其至少形成于砖桥火山旋回之后。尽管有文献认为正长岩与成矿关系密切(倪若水等,1994;吴明安等,1996),但其中并无矿化显示,仅在岩石中发育少量星点状磁铁矿。文献资料证明(任启江等,1991;张少斌,1992;查世新,2003),沉积-热液改造型矿床的叠加改造与燕山期火山-潜火山热液成矿作用有关。我们对区内玢岩铁矿和沉积-热液改造型铁矿的磁铁矿微量元素分布特征研究也证实了这一认识:如图 4 和表 2 所示,高场强元素(HFSE:Nb、Ta、Zr、Hf)、大离子亲石元素(Ca)和铁族元素(Co、

http://www.geojournals.cn/dzxb/ch/index.aspx

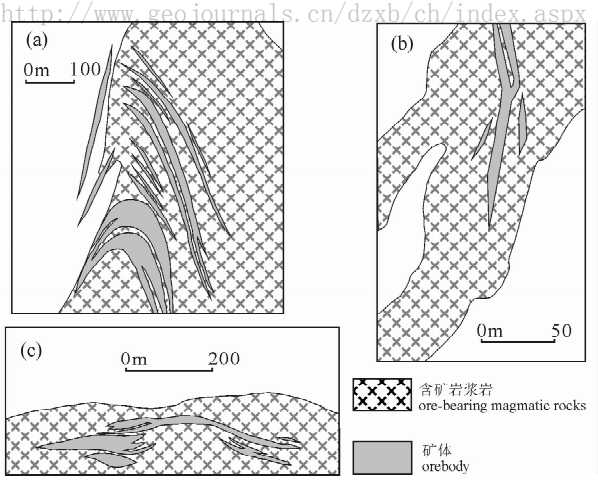

图 3　庐枞盆地主要矿床类型含矿岩浆岩与矿体空间关系剖面示意图

Fig. 3　A cross-section of spatial relationship between the orebody and the ore-bearing magmatic rocks of main deposits types in Luzong basin

(a)—斑岩型矿床(根据安徽省 327 地质队资料)；(b)—脉状热液型矿床(根据华东冶金地质勘查研究院资料)；(c)—玢岩型矿床(根据安徽 327 地质队资料)

(a)—Porphyry deposit (according to: 327 Geological Brigade, Bureau of Geological and Mineral Exploration of Anhui Province); (b)—vein hydrothermal-types deposit (according to: East-China Research Institute of Metallurgical and Geological Prospecting); (c)—porphyrite deposit types (according to: 327 Geological Brigade, Bureau of Geological and Mineral Exploration of Anhui Province)

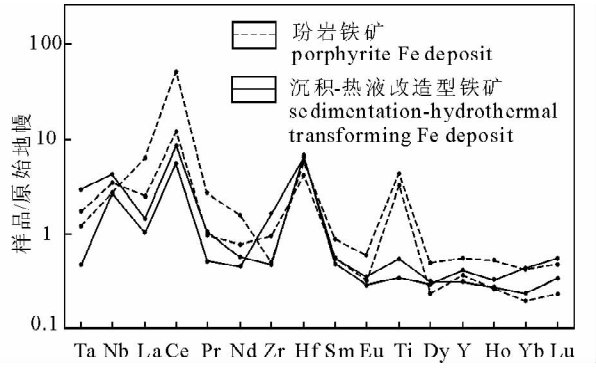

图 4　庐枞盆地不同类型铁矿床的磁铁矿微量元素特征

Fig. 4　Trace element characteristics of magnetite from different types iron deposit in Luzong basin

Cr)在两类矿床磁铁矿中分布特征的相似性，表明二者在成矿流体与物质的来源上具有成因联系，HFSE 由于电子层的稳定结构，在热液作用中表现出惰性地球化学习性，可以有效示踪成矿流体及物质来源；同时，磁铁矿中 Ti、V、Mn、Mg 的差异，则从形成温度、氧化还原环境等条件(赵珊茸等，2004)强烈暗示沉积-热液改造型铁矿形成相对滞后于玢岩铁矿❶。

脉状热液型矿床：脉状热液型 Cu-Au 矿床和矿化点由庐江县黄屯至枞阳县整体沿 NE40°呈带状分布，成矿与脉状产出的岩浆岩关系极为密切(徐兆文等，1992)，重要矿区均可见与矿体产状近于一致的脉岩产出(图 3b)；与矿化有关的岩浆岩主要为盆地内早、晚期火山旋回喷溢后期由潜火山-热液活动形成的碱性脉岩(正长岩或正长斑岩)，在流体作用下大多不同程度发生了硅化、黄铁矿化甚至矿化；区内与之对应，形成两期脉状热液型 Cu-Au 矿化(徐兆文等，1992；吴明安等，2007)。我们对含矿正长(斑)岩与脉状热液型矿床中黄铜矿的 REE 对比研究显示(图 5)，二者具有明显的成因联系。

斑岩型矿床：主要分布于庐枞火山岩盆地西北缘的庐江县沙溪一带，位于郯庐断裂与矾山-铜陵深大断裂复合部位，矿化呈北东向展布。成矿作用与具埃达克质特征的钙碱性侵入岩关系密切(王强等，2001；Wang et al.，2006)，含矿侵入体沿 NE、NNE 向构造带呈树叉状展布；重要的含矿侵入岩为石英闪长斑岩和黑云母石英闪长斑岩。主矿体为含矿侵入体上部蚀变带内的细脉浸染状铜矿体(图 3a)，另有脉状铜矿体，产于侵入体附近下侏罗统石英砂岩和泥质粉砂岩中发育的 NNE－SN 向裂隙中或层间裂隙中。

由表 1 可以看出，庐枞地区燕山期的成矿作用与构造-岩浆活动密切相关。矿床地质调查和资料分析表明，郯庐断裂带和长江断裂带制约了区内的岩浆-成矿活动，同一深部动力学过程形成的两个岩浆系列控制了两个成矿系列❶：①与幔源橄榄安粗

表 2　庐枞盆地两类铁矿床中磁铁矿微量元素特征(μg/g)

Table 2　Trace element (μg/g) characteristics of magnetite from two types iron deposit in Luzong basin

矿床类型	样号	Ti	Mg	Mn	Zr	Hf	Nb	Ta	V	Cr	Ca	Co
玢岩铁矿	LJ-21	5723	660	1246	5.7	1.8	1.9	0.05	2254	6.4	5220	28.0
	LH-J	4202	<10	913	10.6	1.3	2.6	0.07	1907	4.2	2250	47.2
沉积-热液	LJ-34	734	340	1587	18.0	2.0	1.9	0.02	121	9.2	3590	35.3
改造型铁矿	LQK-2	448	1020	1367	5.4	2.1	3.0	0.12	45.4	10.8	4570	37.5

分析单位：湖北省地质实验研究所。

http://www.geojournals.cn/dzxb/ch/index.aspx

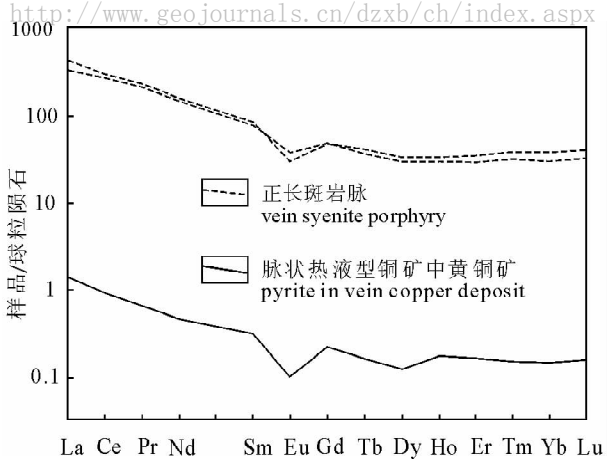

图 5 庐枞盆地脉状铜矿中黄铜矿与含矿岩浆岩 REE 特征

Fig. 5 The REE characteristics of pyrite and ore-bearing magmatic rocks from vein copper deposit in Luzong basin

岩系火山-潜火山岩-侵入岩有关的玢岩型 Fe-Cu 矿床、沉积－热液改造型 Fe-Cu 矿床和脉状热液型 Cu-Au 矿床;②与底侵玄武岩熔融成因、具埃达克质特征钙碱性侵入岩有关的斑岩型 Cu-Au 矿床。

2 含矿岩体锆石 U-Pb 年龄

2.1 含矿岩体样品特征

本文含矿岩浆岩年代学研究的 6 个样品分别采自与玢岩型 Fe-Cu 矿床、脉状热液型 Cu-Au 矿床和斑岩型 Cu-Au 矿床有关的含矿岩浆岩。

(1)辉石粗安玢岩:岩石属于橄榄玄(安)粗岩系潜火山岩。3 个样品分别取自庐江县罗河铁矿正在开拓的措施井－650 m 巷道(样品 LJ-23、LJ-37)和庐江县泥河铁矿勘探钻孔 ZK1209 进尺深度 1056～1080 m 岩芯(样品 NHK1-2)。样品 LJ-23 和 LJ-37 位于含矿岩体蚀变带,受成矿流体作用而发生一定程度钾化、硅化与磁铁矿化,但并不对岩浆成因锆石构成影响。样品 NHK1-2 采集时尽量避开矿化影响,因此该样品保留了含矿岩体的原岩特征。样品岩石呈紫灰—深灰色,具斑状—似斑状结构,斑晶主要为斜长石(中长石,*An* 38～45)和辉石(易变辉石—透辉石系列,$c \wedge Ng = 37° \sim 45°$);镜下斜长石粒径 2～3 mm,发育聚片双晶,包含细粒斜长石和辉石,并普遍发生绢云母化以及局部绿帘石化、叶腊石化;辉石粒径 0.6～1.5 mm,呈浅绿色,多被后期绿泥石、碳酸盐所交代。基质多呈他形—半自形粒状结构,主要矿物为斜长石并普遍发生绢云母化、绿帘石化和叶腊石化;次要矿物为辉石,普遍绿泥石化;副矿物可见榍石和磁铁矿。

(2)霓辉石正长岩/正长斑岩:岩石为与橄榄玄(安)粗岩系有关的侵入岩。霓辉石正长岩样品(ZY-9)从枞阳县雨坛乡的卧龙 Cu-Au 矿区(采样坐标:N30°49′28.2″,E117°11′05.5″)采取,受矿化影响发生硅化和黄铁矿化。正长斑岩样品(ZY-16)从枞阳县拔茅山 Cu-Au 矿区(采样坐标:N30°48′32.6″,E117°15′30.9″)采取,采样避开了矿化影响,故样品保留了含矿岩体的原岩特征。霓辉石正长岩具斑状—似斑状结构,斑晶为碱性长石(正长石和微斜长石)、酸性斜长石(奥长石,*An* 20～28)、霓辉石和少量角闪石,镜下可见碱性长石发生高岭土化、斜长石发生绢石母化以及霓辉石被角闪石交代;基质多呈半自形粒状结构,主要矿物为正长石,次要矿物有酸性斜长石、霓辉石、角闪石等,副矿物可见锆石、榍石、磁铁矿等。正长斑岩具斑状结构,斑晶主要为碱性长石(正长石和微斜长石)、少量斜长石(奥长石—中长石,*An* 26～35)和石英,显微镜下可见碱性长石的高岭土化和斜长石的绢石母化;基质为半自形粒状结构,主要矿物为正长石,次要矿物有斜长石、石英、角闪石等,副矿物可见磷灰石、锆石、榍石、黄铁矿等。

(3)石英闪长斑岩:岩石为具埃达克质特征钙碱性侵入岩。样品 LJ-26 采自庐江县沙溪 Cu-Au 矿区地表出露的含矿岩浆岩(采样坐标:N31°09′55.6″,E117°18′11.6″);样品虽然避开矿化的影响,但由于近地表而存在微弱的次生变化。样品岩石具斑状结构,斑晶主要为斜长石(奥长石—中长石,*An* 25～38)、石英以及少量角闪石、黑石母,显微镜下可见斜长石斑晶多被后期绢石母或绿帘石、碳酸盐、钾长石、钠长石所交代,角闪石斑晶多被绿泥石、阳起石或黑石母所交代;基质多具半自形粒状结构,主要矿物为斜长石和石英,次要矿物有钾长石、钠长石、角闪石、黑石母等,副矿物可见磷灰石、磁铁矿、锆石、榍石、褐帘石。

2.2 样品分析方法

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。然后将锆石样品用环氧树脂固定于样品靶上。样品靶表面经研磨抛光,直至锆石新鲜截面露出。显微镜下对靶上锆石发育的包裹体与微裂隙全面观察并显微照相标记后,镀碳、进行 CL 分析;阴极发光(CL)图像采集在中国地质科学院地质研究所北京离子探针中心完成(部分图像见图 6)。锆石 U-Pb 年龄测定在中国地质大学地质过

http://www.geojournals.cn/dzxb/ch/index.aspx

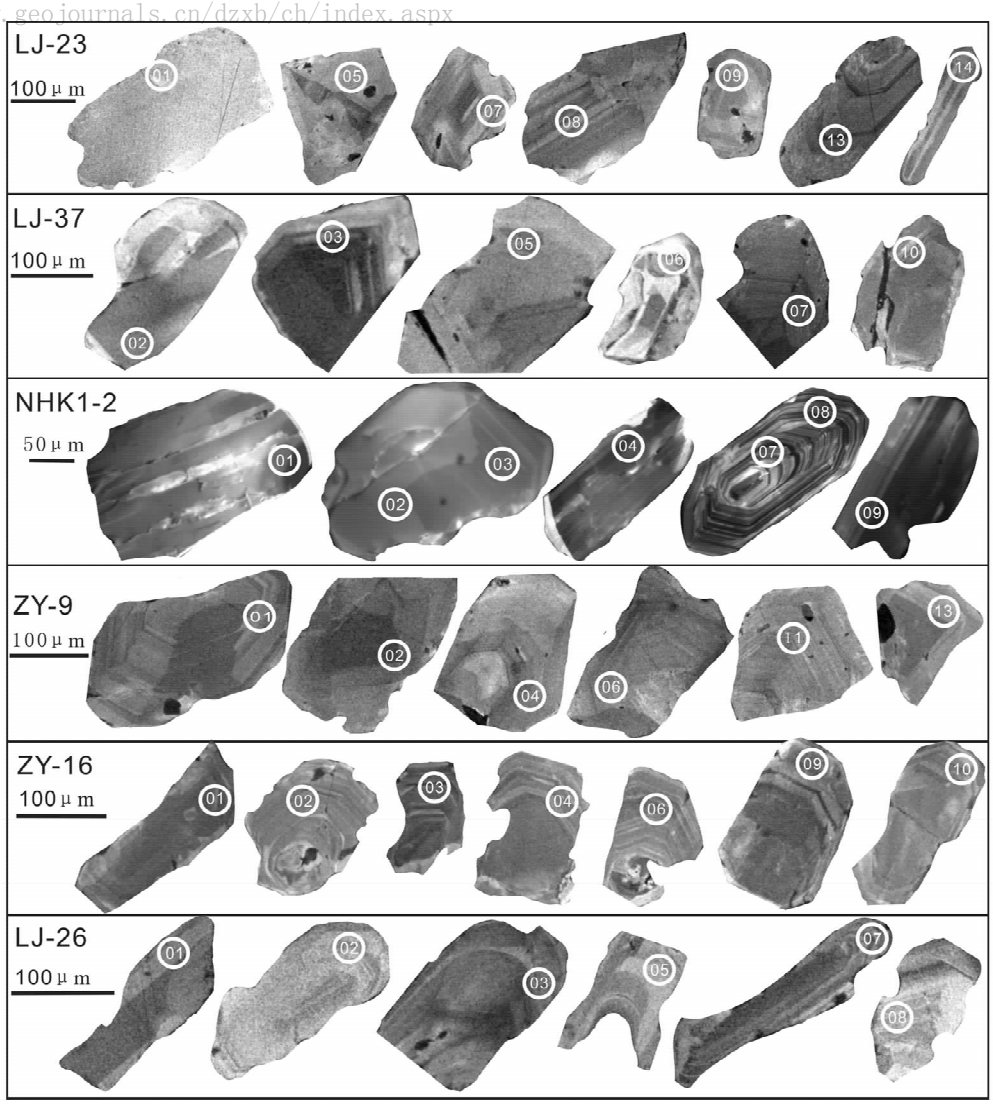

图 6　部分锆石阴极发光(CL)图像及测试位置

Fig. 6　The CL images and the measuring positions of some zircons

程与矿产资源国家重点实验室的电感耦合等离子体质谱仪(Agilent7500a)与准分子激光剥蚀系统(Geolas2005)组成的 LA-ICPMS 系统完成。分析采用的光斑直径为 32 μm(样品 ZY-9、LJ-23、NHK1-2)和 24 μm(样品 ZY-16、LJ-26、LJ-37),采用国际标准锆石 91500 作为外标标准物质,外标校正方法为每隔 4～5 个样品分析点测一次标准,保证标准和样品的仪器条件完全一致。详细的实验流程参见 Black 等(2004)文献。样品的同位素数据处理采用 Glitter(4.0版)软件进行;普通铅校正采用 Black 等(2004)和 Harris 等(2004)的方法;年龄计算及谐和图绘制采用 Isoplot(3.23 版)进行(Ludwig,2003)。除古老锆石及异常的锆石年龄外,有效测试数据列于表 3 中。

2.3　分析结果及解释

庐枞地区含矿岩浆岩的锆石晶体长约 60 ～300 μm,宽约 30～150 μm,长宽比为 1.5∶1～4.5∶1;大部分锆石较自形,且呈柱状,少数为等粒状。大部分锆石晶体可见岩浆震荡环带或扇形环带,指示其主体为岩浆结晶产物;尽管少部分锆石显示具有核幔结构,但大多数锆石具有典型的单期生长同心环带特征。锆石 Th/U 比值均远大于 0.1,属典型的岩浆成因锆石。

6 件样品校正后的有效分析数据点、样品的 $^{206}Pb/^{238}U$ 加权平均年龄值和锆石 U-Pb 谐和曲线如图 7 所示。图 7 显示的含矿岩浆岩锆石 U-Pb 年龄与庐枞地区龙门院组(134.8± 1.8 Ma)、砖桥组(134.1±1.6 Ma)、双庙组(130.5±0.8 Ma)和浮山组(127.1±1.2 Ma)火山岩的形成主体时代(周涛发等,2008a)对比表明,属橄榄安粗岩系的辉石粗安玢岩和沙溪具埃达克质特征的钙碱性石英闪长斑岩

http://www.geojournals.cn/dzxb/ch/index.aspx

表 3 庐枞盆地含矿岩浆岩 LA-ICPMS 锆石 U-Pb 年代分析结果

Table 3 LA-ICPMS results of zircon U-Pb geochronology from ore-bearing magmatic rocks in Luzong basin

测点编号	含量($\times10^{-6}$)			$^{207}Pb/^{206}Pb$		$^{207}Pb/^{235}U$		$^{206}Pb/^{238}U$		$^{208}Pb/^{232}Th$		$^{206}Pb/^{238}U$		$^{207}Pb/^{235}U$		$^{208}Pb/^{232}Th$	
	U	Th	Th/U	比率	1σ	比率	1σ	比率	1σ	比率	1σ	年龄(Ma)	1σ	年龄(Ma)	1σ	年龄(Ma)	1σ
LJ-23																	
01	220	238	1.03	0.0541	0.0033	0.1560	0.0092	0.0212	0.0004	0.0067	0.0002	135	2.3	147	8.1	135	3.7
02	259	188	0.69	0.0499	0.0023	0.1429	0.0065	0.0209	0.0003	0.0067	0.0002	133	1.6	136	5.8	134	3.5
03	605	622	0.97	0.0491	0.0016	0.1403	0.0048	0.0207	0.0002	0.0067	0.0001	132	1.4	133	4.3	136	2.5
04	644	655	0.96	0.0474	0.0016	0.1367	0.0045	0.0209	0.0002	0.0066	0.0001	133	1.5	130	4.0	132	2.3
05	190	175	0.87	0.0476	0.0032	0.1378	0.0089	0.0211	0.0003	0.0066	0.0002	135	2.1	131	8.0	133	4.7
06	789	1066	1.28	0.0485	0.0015	0.1411	0.0043	0.0211	0.0002	0.0070	0.0001	135	1.4	134	3.8	141	2.7
07	185	184	0.94	0.0489	0.0030	0.1371	0.0077	0.0208	0.0003	0.0068	0.0002	133	2.0	130	6.9	136	3.8
08	245	238	0.91	0.0494	0.0028	0.1396	0.0076	0.0207	0.0003	0.0069	0.0002	132	2.0	133	6.8	140	3.8
09	232	238	0.99	0.0515	0.0031	0.1486	0.0089	0.0209	0.0003	0.0071	0.0002	134	1.8	141	7.9	143	3.9
10	265	289	1.06	0.0486	0.0027	0.1396	0.0079	0.0208	0.0003	0.0065	0.0002	133	2.0	133	7.0	132	3.4
11	600	632	1.01	0.0487	0.0024	0.1415	0.0068	0.0210	0.0003	0.0067	0.0002	134	1.9	134	6.0	136	3.0
12	228	269	1.14	0.0493	0.0033	0.1388	0.0086	0.0207	0.0003	0.0068	0.0002	132	2.1	132	7.7	138	3.7
13	224	198	0.84	0.0508	0.0028	0.1464	0.0081	0.0208	0.0003	0.0070	0.0002	133	1.9	139	7.2	141	3.5
14	223	175	0.75	0.0519	0.0031	0.1480	0.0084	0.0208	0.0003	0.0066	0.0002	133	1.8	140	7.4	133	3.9
LJ-37																	
01	468	562	1.20	0.0447	0.0024	0.1270	0.0066	0.0209	0.0003	0.0065	0.0002	134	2.0	121	6.0	130	3.5
02	444	436	0.98	0.0479	0.0028	0.1383	0.0080	0.0210	0.0003	0.0068	0.0002	134	2.0	132	7.1	138	4.3
03	193	189	0.98	0.0579	0.0043	0.1710	0.0118	0.0219	0.0006	0.0075	0.0004	140	3.5	160	10.2	150	7.3
04	179	166	0.93	0.0654	0.0051	0.1782	0.0135	0.0203	0.0004	0.0058	0.0003	129	2.7	166	11.6	117	5.4
05	335	375	1.12	0.0508	0.0033	0.1451	0.0093	0.0207	0.0003	0.0062	0.0002	132	2.2	138	8.2	126	4.5
06	314	271	0.86	0.0502	0.0031	0.1420	0.0086	0.0208	0.0003	0.0066	0.0002	133	2.1	135	7.7	132	4.9
07	129	123	0.95	0.0557	0.0045	0.1573	0.0119	0.0213	0.0005	0.0017	0.0005	136	3.1	148	10.5	34.6	10.3
08	548	1030	1.88	0.0513	0.0036	0.1482	0.0113	0.0209	0.0004	0.0070	0.0002	133	2.3	140	10.0	141	4.8
09	3389	10412	3.07	0.0523	0.0009	0.1583	0.0031	0.0218	0.0002	0.0076	0.0001	135	3.3	149	2.7	153	1.8
10	202	165	0.82	0.0660	0.0051	0.1795	0.0122	0.0204	0.0004	0.0069	0.0003	130	2.4	168	10.5	140	6.4
11	191	220	1.15	0.0565	0.0041	0.1552	0.0108	0.0205	0.0004	0.0068	0.0003	131	2.6	146	9.5	136	5.3
12	140	108	0.77	0.0557	0.0048	0.1479	0.0113	0.0205	0.0005	0.0065	0.0003	131	3.1	140	10.0	131	6.9
13	249	239	0.96	0.0581	0.0033	0.1685	0.0096	0.0213	0.0004	0.0066	0.0002	136	2.5	158	8.4	134	5.0
14	833	805	0.97	0.0528	0.0024	0.1538	0.0069	0.0212	0.0003	0.0070	0.0002	135	1.7	145	6.1	141	4.0
15	245	242	0.99	0.0520	0.0041	0.1467	0.0114	0.0208	0.0004	0.0061	0.0002	133	2.3	139	10.1	124	4.3
ZY-9																	
01	197	184	0.94	0.0547	0.0029	0.1508	0.0080	0.0202	0.0003	0.0067	0.0002	129	1.9	143	7.1	135	4.1
02	226	240	1.06	0.0488	0.0027	0.1362	0.0075	0.0201	0.0003	0.0067	0.0002	128	1.8	130	6.7	136	3.4
03	353	401	1.13	0.0478	0.0021	0.1331	0.0060	0.0202	0.0003	0.0066	0.0001	129	1.7	127	5.4	134	2.9
04	122	70.3	0.58	0.0564	0.0037	0.1570	0.0101	0.0205	0.0004	0.0066	0.0003	131	2.3	148	8.9	133	5.5
05	104	80.6	0.78	0.0622	0.0042	0.1692	0.0107	0.0204	0.0003	0.0067	0.0003	130	2.1	159	9.3	135	6.0
06	235	249	1.06	0.0470	0.0025	0.1292	0.0065	0.0203	0.0003	0.0066	0.0002	130	1.7	123	5.8	133	3.4
07	132	110	0.83	0.0561	0.0040	0.1552	0.0108	0.0201	0.0003	0.0066	0.0002	128	2.1	146	9.5	132	4.6
08	218	242	1.11	0.0504	0.0025	0.1377	0.0065	0.0201	0.0003	0.0065	0.0002	128	1.8	131	5.8	131	3.7
09	140	137	0.98	0.0499	0.0031	0.1372	0.0086	0.0204	0.0004	0.0067	0.0002	130	2.3	131	7.7	136	4.4
10	194	195	1.01	0.0472	0.0029	0.1339	0.0082	0.0207	0.0003	0.0066	0.0002	132	2.1	128	7.3	133	3.8
11	329	447	1.36	0.0491	0.0024	0.1358	0.0064	0.0202	0.0003	0.0067	0.0001	129	1.8	129	5.7	135	3.0
12	211	177	0.84	0.0505	0.0031	0.1353	0.0080	0.0199	0.0003	0.0066	0.0002	127	2.1	129	7.1	132	3.8
13	153	110	0.72	0.0545	0.0034	0.1489	0.0083	0.0206	0.0004	0.0070	0.0003	131	2.3	141	7.3	141	5.3
14	106	80.5	0.76	0.0576	0.0037	0.1585	0.0100	0.0206	0.0004	0.0065	0.0003	131	2.6	149	8.8	132	5.7
15	231	163	0.71	0.0491	0.0026	0.1401	0.0076	0.0207	0.0003	0.0071	0.0002	132	1.9	133	6.8	144	4.0

形成于早期龙门院-砖桥旋回与晚期双庙-浮山旋回之间的间歇期;而与橄榄安粗岩系有关的霓辉石正长岩和正长斑岩更可能形成于晚期火山岩(双庙-浮山旋回)喷溢前期的碱性岩浆-热液活动。

http://www.geojournals.cn/dzxb/ch/index.aspx

续表 3

测点编号	含量(×10⁻⁶)			$^{207}Pb/^{206}Pb$		$^{207}Pb/^{235}U$		$^{206}Pb/^{238}U$		$^{208}Pb/^{232}Th$		$^{206}Pb/^{238}U$		$^{207}Pb/^{235}U$		$^{208}Pb/^{232}Th$	
	U	Th	Th/U	比率	1σ	比率	1σ	比率	1σ	比率	1σ	年龄(Ma)	1σ	年龄(Ma)	1σ	年龄(Ma)	1σ
LJ-26																	
01	225	109	0.49	0.0501	0.0064	0.1451	0.0220	0.0210	0.0006	0.0066	0.0005	134	4	138	19	134	9
02	858	182	0.21	0.0995	0.0081	0.2850	0.0318	0.0223	0.0008	0.0083	0.0010	142	5	255	25	166	19
03	293	479	1.64	0.0481	0.0019	0.1411	0.0071	0.0212	0.0003	0.0074	0.0005	135	2	134	6	150	9
04	148	33	0.22	0.0635	0.0064	0.1705	0.0217	0.0206	0.0006	0.0085	0.0008	131	4	160	19	171	16
05	461	425	0.92	0.0521	0.0031	0.1502	0.0111	0.0210	0.0004	0.0073	0.0003	134	2	142	10	147	5
06	684	815	1.19	0.0493	0.0018	0.1434	0.0068	0.0212	0.0003	0.0069	0.0002	135	2	136	6	139	3
07	208	122	0.59	0.0525	0.0033	0.1425	0.0117	0.0210	0.0005	0.0075	0.0003	134	3	135	10	152	6
08	545	119	0.22	0.0526	0.0041	0.1504	0.0138	0.0206	0.0004	0.0071	0.0006	131	2	142	12	142	12
09	205	10	0.05	0.0585	0.0038	0.1653	0.0134	0.0213	0.0004	0.0215	0.0016	136	3	155	12	430	31
10	173	99	0.57	0.0615	0.0039	0.1680	0.0138	0.0210	0.0004	0.0071	0.0005	134	3	158	12	142	9
ZY-16																	
01	374	547	1.46	0.0576	0.0044	0.1567	0.0119	0.0197	0.0004	0.0064	0.0002	126	2.5	148	10.4	128	4.5
02	380	445	1.17	0.0552	0.0029	0.1543	0.0078	0.0204	0.0003	0.0064	0.0002	130	2.0	146	6.9	129	4.6
03	399	586	1.47	0.0543	0.0032	0.1519	0.0087	0.0203	0.0003	0.0066	0.0002	130	1.7	144	7.7	133	4.2
04	226	568	2.51	0.0610	0.0040	0.1693	0.0113	0.0202	0.0003	0.0069	0.0002	129	2.2	159	9.8	139	3.9
05	289	283	0.98	0.0609	0.0042	0.1663	0.0105	0.0205	0.0004	0.0072	0.0003	131	2.2	156	9.1	145	5.3
06	366	401	1.10	0.0542	0.0037	0.1480	0.0095	0.0204	0.0003	0.0061	0.0002	130	2.1	140	8.4	122	4.2
07	176	201	1.15	0.0565	0.0050	0.1572	0.0139	0.0204	0.0004	0.0065	0.0003	130	2.8	148	12.2	130	6.2
08	483	596	1.23	0.0500	0.0027	0.1383	0.0071	0.0203	0.0003	0.0066	0.0002	129	2.0	132	6.3	133	4.5
09	444	558	1.26	0.0503	0.0025	0.1366	0.0065	0.0199	0.0003	0.0066	0.0002	127	2.0	130	5.8	133	4.4
10	345	464	1.34	0.0538	0.0030	0.1470	0.0083	0.0200	0.0003	0.0066	0.0002	128	2.1	139	7.3	134	4.2
NH1-2																	
01	174	196	1.13	0.0584	0.0042	0.1616	0.0147	0.0203	0.0005	0.0072	0.0003	129	3.0	152	13.0	144	6.0
02	199	230	1.16	0.0519	0.0089	0.1543	0.0293	0.0216	0.0005	0.0068	0.0003	137	3.0	146	26.0	136	5.0
03	306	378	1.24	0.0504	0.0059	0.1497	0.0196	0.0215	0.0004	0.0068	0.0001	137	2.0	142	17.0	137	3.0
04	443	684	1.54	0.0524	0.0021	0.1499	0.0082	0.0211	0.0004	0.0069	0.0002	134	2.0	142	7.0	139	4.0
05	193	154	0.80	0.0567	0.0040	0.1699	0.0152	0.0216	0.0005	0.0071	0.0003	138	3.0	159	13.0	143	7.0
06	164	138	0.84	0.0527	0.0061	0.1555	0.0209	0.0215	0.0005	0.0081	0.0004	137	3.0	147	18.0	163	8.0
07	217	574	2.64	0.0471	0.0103	0.1344	0.0325	0.0207	0.0006	0.0066	0.0002	132	4.0	128	29.0	133	4.0
08	116	322	2.77	0.0663	0.0186	0.1856	0.0602	0.0203	0.0010	0.0062	0.0002	130	6.0	173	52.0	125	4.0
09	707	357	0.51	0.0458	0.0022	0.1292	0.0082	0.0204	0.0004	0.0072	0.0003	130	2.0	123	7.0	146	6.0
10	951	780	0.82	0.0502	0.0021	0.1372	0.0074	0.0201	0.0003	0.0069	0.0002	128	2.0	131	7.0	140	5.0
11	318	280	0.88	0.0520	0.0063	0.1444	0.0204	0.0201	0.0005	0.0063	0.0002	129	3.0	137	18.0	127	3.0

3　含矿岩浆岩年龄对成矿时限的约束

3.1　玢岩型矿床成矿时限

本文获得庐枞盆地含矿辉石粗安玢岩的成岩年龄为 133.3±0.6～132.8±2.6 Ma,矿床学的有关理论(袁见齐等,1986)和实际成矿特征(含矿岩浆岩被流体交代蚀变和矿体穿插)均表明,成矿作用应滞后成岩作用(可能在 1～2 Ma 左右);因此,庐枞地区玢岩型 Fe-Cu 矿床合理形成时限为 132～131 Ma。含矿岩浆岩锆石 U-Pb 年龄值是这一认识的重要约束条件。此外,还有区域成矿规律佐证:①区域上,长江中下游成矿作用存在自西向东、成矿时代由早变晚的趋势(常印佛等,1991;周涛发等,2008b);鄂东南程潮和金山店矽卡岩型铁矿中金云母的$^{40}Ar/^{39}Ar$ 同位素坪年龄分别为 132.6±1.4 Ma 和 131.6±1.2 Ma,对应等时线年龄为 136.6±4 Ma 和 132.0±2.48 Ma(Xie et al.,2007;谢桂青等,2008);宁芜盆地的玢岩铁矿中钠长石的$^{40}Ar/^{39}Ar$年龄为 124.9±0.3～122.9 ±0.2 Ma(余金杰等,2002);②长江中下游成矿有斑岩-矽卡岩型铜矿形成早于玢岩-矽卡岩型铁矿的演化规律(谢建成等,2009);与庐枞地区咫尺之隔的铜陵矿集区矽卡岩型铜矿形成于 140.0～138.0 Ma(谢建成等,2009),月山矿田矽卡岩型铜矿形成于 138.7～135.2 Ma(陈江峰等,1991;张乐骏等,2008)。由此阐明含矿辉石粗安玢岩中锆石 U-Pb 年龄所约束的

http://www.geojournals.cn/dzxb/ch/index.aspx

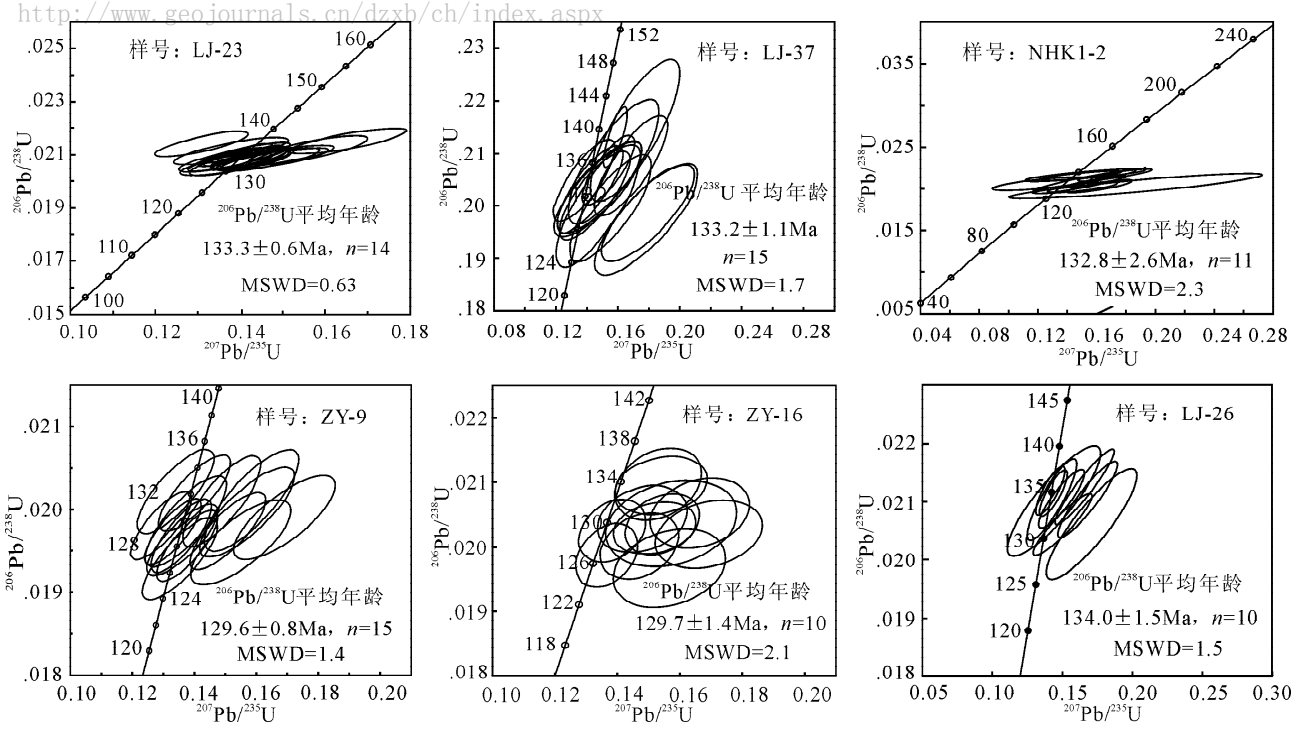

图 7 庐枞盆地含矿岩浆岩锆石 U-Pb 谐和曲线图

Fig. 7 LA-ICPMS age plots of zircon from ore-bearing magmatic rocks in Luzong basin

庐枞盆地玢岩型 Fe-Cu 矿床成矿时间上限。

3.2 沉积-热液改造型矿床成矿时限

文献资料(张少斌，1992；倪若水等，1994；吴明安等，1996；查世新，2003)和我们的研究均表明❶，庐枞盆地沉积-热液改造型 Fe-Cu 矿床的叠加改造与燕山期火山-潜火山热液成矿作用有关；时间滞后于玢岩型 Fe-Cu 矿床，与火山喷发间歇期的岩浆热液活动密切相关。根据区域成矿特征对比，在含矿岩浆岩锆石 U-Pb 年龄约束下其合理的形成时限为 131～130 Ma。主要依据为：①尽管本文在龙桥矿区未获得与成矿有关的岩浆岩样品(下伏正长岩体并不发育与矿化有关的蚀变，其与铁矿床的成因联系尚存疑)，但应用盆地内玢岩型矿床的成矿时限和拔茅山矿区正长斑岩的锆石 U-Pb 年龄(样品 ZY-16，129.7±1.4 Ma)作为沉积-热液改造型矿床成矿时代的上、下限，可将其成矿年代限定在 131～130 Ma 左右；②玢岩型矿床和沉积-热液改造型矿床的磁铁矿微量元素相似分布特征(图 4)表明两者的成矿流体与成矿物质来源具有成因联系，而磁铁矿中 Ti、V、Mn、Mg 的差异(表 2)则反映出沉积-热液改造型矿床形成于相对低温氧化环境(赵珊茸等，2004)，暗示其成矿时间相对滞后；③沉积-热液改造型矿床中并不发育玢岩型矿床的岩浆熔离(矿浆)成因矿体(表 1)，也是其形成时间相对滞后的重要地质证据；④吴明安等(2007)根据对成矿地质特征和空间分布规律的理解，总结沉积-岩浆热液改造型的龙桥铁矿形成于早白垩世较早期；这一时期，随着区内玢岩型矿体在 132～131 Ma 定位，来自地幔的成矿金属将进入流体系统迁移并对早期形成的沉积矿胚进行改造。

本文根据审稿意见修改时，获得段超(2009)的龙桥铁矿床矿石中与磁铁矿密切共生的金云母 $^{40}Ar/^{39}Ar$ 测年资料(段超，2009)，显示该矿床热液成矿阶段的年龄为 130.5±1.1 Ma。需要指出，本文研究工作与该项金云母 $^{40}Ar/^{39}Ar$ 测年研究属于“背靠背”的独立工作，但研究成果高度吻合。因此 131～130 Ma 是庐枞盆地沉积-岩浆热液改造型矿床的合理成矿时限。

3.3 脉状热液型矿床成矿时限

地质资料显示(吴明安等，2007)，庐枞地区脉状热液型 Cu-Au 矿床存在两期。本文获得枞阳县拔茅山矿区含矿正长斑岩和卧龙矿区含矿霓辉石正长岩的成岩年龄分别为 129.6±0.8 Ma 和 129.7±1.4 Ma，由此约束该区第一期脉状热液型 Cu-Au 矿床的成矿时限为 129 Ma 左右。庐枞火山岩晚期双庙-浮山旋回的年代学资料显示，LA-ICPMS 锆石 U-Pb 年龄为 130.5±0.8～127.1±1.2 Ma(周涛发，2008a)，全岩 $^{40}Ar/^{39}Ar$ 坪年龄为 126.0±3.4～125.5±0.8

http://www.geojournals.cn/dzxb/ch/index.aspx

Ma(刘洪等,2002)。综合考虑这些年代学数据,本文认为,第一期脉状热液型 Cu-Au 矿床形成于火山喷发大旋回的间歇期晚阶段,与晚期火山活动(双庙-浮山旋回)前期的碱性岩浆-热液活动关系密切。庐枞地区形成于晚期火山活动后的第二期脉状热液型 Cu-Au 矿床(吴明安等,2007),尽管没有直接成矿年龄证据,但根据前述双庙-浮山火山旋回的年代学数据以及表征"庐枞盆地内岩浆活动基本结束"的周边区域 A 型花岗岩形成于 126～124 Ma(范裕等,2008)的限定,其成矿时限应在 126 Ma 左右。

3.4　斑岩型矿床成矿时限

杨晓勇(2006)测得庐江沙溪钙碱性侵入岩中黑云母和斜长石的 $^{40}Ar/^{39}Ar$ 平均坪年龄为 132.62±0.28 Ma、等时线平均年龄为 132.59±0.46 Ma;Wang 等(2006)测得沙溪钙碱性侵入岩的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为 136±3 Ma;本文获得沙溪钙碱性侵入岩的 LA-ICPMS 锆石 U-Pb 年龄为 134.0±1.5 Ma。$^{40}Ar/^{39}Ar$ 年龄值应解释为沙溪侵入岩冷却至黑石母或斜长石对 Ar 封闭时的年龄(吴淦国等,2008),因此小于岩石的锆石 U-Pb 年龄。庐枞盆地的巴家滩岩体中分布的闪长质包体锆石 SHRIMP U-Pb 年龄为 135 Ma(刘珺等,2007),本文认为这种闪长质包体很可能是与沙溪钙碱性侵入岩相同成因的岩浆形成:①其地球化学特征与沙溪钙碱性侵入岩类似(刘珺等,2007);②闪长质包体铜含量高达 309～8204 μg/g(刘珺等,2007),而构成巴家滩岩体的主体岩石(辉石二长岩)并不发育如此强烈铜矿化;③庐枞盆地及邻区在 135 Ma 左右可能发生的铜矿化大多与钙碱性岩浆活动有关。综合上述,庐枞盆地的钙碱性或钙碱性埃达克质侵入岩应形成于 136～134 Ma 左右;同时,对比邻区安庆和铜陵地区类似侵入岩的年代学数据(表 4),其潜在的形成年代有可能更早。

表 4　安庆和铜陵地区主要含矿岩体同位素年龄

Table 4　Isotopic age of ore-bearing magmatic rocks in Anqing area and Tongling area

含矿岩体	年龄(Ma)	测定方法	资料来源
安庆月山	138.7±0.5	锆石 U-Pb	张乐骏等,2008
铜陵冬瓜山	135.5±2.2	锆石 U-Pb	徐晓春等,2008
铜陵新桥	140.4±2.2	锆石 U-Pb	王彦斌等,2004a
铜陵胡村	140.0±2.6	锆石 U-Pb	徐晓春等,2008
铜陵铜官山	137.5±1.1	锆石 U-Pb	徐夕生等,2004
铜陵小铜官山	138.9±3.1	锆石 U-Pb	王彦斌等,2004b
铜陵凤凰山	144.2±2.3	锆石 U-Pb	吴淦国等,2008
铜陵鸡冠石	135.5±4.4	锆石 U-Pb	楼亚儿等,2006

斑岩型 Cu-Au 矿床的成矿时限应该与寄主岩石一致或稍晚。这一认识基于对岩浆-热液成矿系统动力学特征的理解:根据科尔任斯基的"透岩浆流体成矿作用"(罗照华等,2007),岩浆系统和成矿流体系统通常是叠合在一起、同时活动的两个地质系统;斑岩型矿床形成的重要条件之一,是这两个系统向上运移速率近于相同;当二者上升速率出现差异时,成矿流体将从岩浆系统逃逸,不能形成斑岩型矿床。这一认识强烈暗示了斑岩型矿床成岩与成矿时限的一致性。因此,沙溪斑岩型 Cu-Au 矿床的成矿时限被约束为 135～133 Ma。

4　讨论与结论

4.1　成矿时限揭示的成矿地球动力学背景

毛景文等(2003)根据对华北克拉通及邻区(包括长江中下游地区)金属矿床大量精确测年数据的整理与分析,提出中国东部中生代大规模成矿作用出现在 200～160 Ma、140 Ma 左右和 130～110 Ma 3 个时期;三大成矿期所对应的地球动力学背景分别为:碰撞造山过程、构造体制大转折和岩石圈大规模拆沉作用。庐枞盆地含矿岩浆岩锆石 U-Pb 年龄约束的成矿时限(135～129 Ma)表明,作为长江中下游成矿带的重要矿集区,其中生代岩浆-成矿作用受中国东部燕山期的地球动力学环境制约,主要对应 140 Ma 左右的构造体制大转折和 130 Ma 左右的岩石圈大规模拆沉两大地质事件。晚侏罗世—白垩纪中国东部完成古特提斯构造体制向环太平洋构造体制的转换和古太平洋俯冲背景下,长江中下游地区在 135～127 Ma 期间进入岩石圈快速伸展时期(周涛发等,2008a),形成一系列 NNE 向断陷盆地并发生强烈的岩浆侵位以及火山-潜火山活动;庐枞盆地 Fe-Cu-Au 成矿正是这一地球动力背景下岩浆活动的产物。

袁峰等(2008)根据庐枞盆地火山岩地球化学特征,进一步识别龙门院-砖桥火山旋回为挤压—拉张过渡的构造背景、双庙-浮山火山旋回为拉张构造背景,构造背景转换时间在 130.5 Ma 左右。由此,本文含矿岩浆岩锆石 U-Pb 年龄约束的成矿时限并结合成矿特征,揭示出盆地内斑岩型矿床、玢岩型矿床和沉积-热液改造型矿床形成于挤压—拉张过渡的动力学环境,两期脉状热液型矿床则形成于拉张的动力学环境。

140 Ma 左右中国东部的岩石圈构造体制调整,导致长江中下游铜陵、安庆等隆起区发生钙碱性(其

http://www.geojournals.cn/dzxb/ch/index.aspx

中不乏埃达克质特征)岩浆侵位和大规模金属成矿,与之仅咫尺之隔的庐枞凹陷区必然受其影响而加剧壳幔作用。重要地质证据有:①庐枞盆地西北边缘的沙溪钙碱性侵入岩(136～134 Ma)及其 Cu-Au 矿化(杨晓勇等,2002;Wang et al.,2006;吴明安等,2007);②庐枞火山岩盆地内部巴家滩岩体中闪长质包体锆石 SHRIMP U-Pb 年龄为 135 Ma,其地球化学特征与沙溪钙碱性侵入岩类似且铜含量高达 309～8204 μg/g(刘珺等,2007);③在庐枞盆地的井边—巴家滩地区发育铜元素地球化学异常,地表发育的围岩蚀变特征与斑岩型铜矿围岩蚀变非常相似(吴明安等,2007),吴明安等(2007)认为深部存在斑岩型铜矿的可能性非常大,具有寻找大型斑岩型铜矿的找矿远景。因此,有理由相信发生于周边隆起区 140 Ma 左右的钙碱性/埃达克质岩浆侵位活动,也在庐枞地区发生并延续到 133 Ma 左右;与成矿有关的钙碱性岩浆来自底侵玄武质下地壳、具埃达克质特征,例如与沙溪斑岩型 Cu-Au 矿有关的石英闪长斑岩。含矿埃达克质/钙碱性岩浆快速上升并高侵位,但未发生火山喷发作用,使挥发组分和成矿元素得以保存,构成区内深部早期具规模的成矿作用。

庐枞盆地早白垩世 130 Ma 左右的大规模火山-潜火山作用,从地球动力学角度可以(也应该)理解为中国东部岩石圈伸展并大规模拆沉环境下,软流圈地幔上涌诱发岩石圈地幔部分熔融形成的岩浆活动(吴福元等,2003)。显然,这一深部过程中 Fe、Cu 等亲地幔金属元素在幔源岩浆起源时被活化萃取而大量进入火山岩浆体系(邓晋福等,2001)。在火山喷发的大旋回间歇期,潜火山岩浆活动使幔源岩浆-成矿体系中的挥发组分以及成矿元素得以保存、迁移和聚集,在该火山岩盆地三维空间的有利构造部位,发生与橄榄安粗质岩浆-热液活动有关的大规模 Fe-Cu-Au 成矿作用。

4.2 庐枞地区燕山期成矿年代学格架

(1)中国东部 145～135 Ma 由 EW 向构造向 NE—NNE 向构造体制转换的地球动力学背景下(牛宝贵等,2003),140 Ma 左右下扬子地区发生大规模中酸性岩浆侵位及斑岩/矽卡岩型金属成矿作用,导致庐枞盆地在 136 Ma 左右发生钙碱性/埃达克质岩浆侵入活动,135～133 Ma 左右形成区内沙溪斑岩型 Cu-Au 矿床和深部已显示众多矿化信息的斑岩/矽卡岩型 Cu(Au)矿床。

(2)中国东部 130 Ma 左右的岩石圈伸展及大规模拆沉地球动力学背景下,庐枞盆地发生软流圈上涌并加热岩石圈地幔导致发生部分熔融形成橄榄安粗岩质岩浆;有关的研究资料显示(袁峰等,2008),岩浆源于性质接近于 EMⅠ型富集地幔的交代地幔。在岩浆由早到晚(龙门院旋回→砖桥旋回→双庙旋回→浮山旋回)演化过程中,132～131 Ma 左右形成玢岩型 Fe-Cu 矿床,131～130 Ma 左右形成沉积-岩浆热液改造型 Fe-Cu 矿床,约在 129 Ma 和 126 Ma 形成区内两期脉状热液型 Cu-Au 矿床。

致谢:野外调查和取样工作得到罗河铁矿、龙桥铁矿和安徽省地质调查研究院的支持与帮助,论文承蒙张洪涛研究员审阅,审稿专家提出了宝贵的修改意见,谨此一并致谢。

注 释

❶ 中国地质大学(武汉)地质调查研究院. 2009. 长江中下游重要矿集区(庐枞地区)地球动力学背景与构造-成矿响应研究报告.

参 考 文 献

常印佛,刘湘培,吴言昌. 1991. 长江中下游铜铁成矿带. 北京:地质出版社,1～76.

陈福坤,李秋立,李潮峰,等. 2005. 高精度质谱计在同位素地球化学的应用前景. 地球科学,30(6):639～645.

陈江峰,李学明,周泰禧,等. 1991. 安徽月山岩体的$^{40}Ar/^{39}Ar$年龄及与其有关的成矿时代估计. 现代地质,5(1):91～99.

陈衍景,Pirajno F,赖勇,等. 2004. 胶东矿集区大规模成矿时间和构造环境. 岩石学报,20:907～922.

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. 安徽地质,11(2):86～91.

段超. 2009. 安徽庐枞盆地龙桥铁矿床地质地球化学特征和矿床成因研究. 合肥工业大学硕士学位论文.

范裕,周涛发,袁峰,等. 2008. 安徽庐江—枞阳地区 A 型花岗岩的 LA-ICP-MS 定年及其地质意义. 岩石学报,24(8):1715～1724.

黄清涛. 1984. 论罗河铁矿床地质特征及矿床成因. 矿床地质,3(4):9～17.

黄清涛,尹恭沛. 1989. 安徽罗河铁矿. 北京:地质出版社,66～137.

蒋少涌,李亮,朱碧,等. 2008. 江西武山铜矿区花岗闪长斑岩的地球化学和 Sr-Nd-Hf 同位素组成及成因探讨. 岩石学报,24(8):1679～1689.

李进文,李旭辉,裴荣富,等. 2007. 江西武山铜矿南矿带辉钼矿 Re-Os 同位素年龄及其地质意义. 地质学报,81(6):801～807.

刘洪,邱检生,罗清华,等. 2002. 安徽庐枞中生代富钾火山岩成因的地球化学制约. 地球化学,31(2):129～137.

刘珺,周涛发,袁峰,等. 2007. 安徽庐枞盆地中巴家滩岩体的岩石地球化学特征及成因. 岩石学报,23(10):2615～2522.

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. 地球化学,35(4):21～29.

罗照华,莫宣学,卢欣祥,等. 2007. 透岩浆流体成矿作用——理论分析与野外证据. 地学前缘,14(3):145～181.

http://www.geojournals.cn/dzxb/ch/index.aspx

毛景文,张作衡,余金杰,等.2003.华北及邻区中生代大规模成矿的地球动力学背景:从金属矿床年龄精测得到启示.中国科学(D辑),33(4):289～296.

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.地质学报,78(1):121～131.

毛景文,胡瑞忠,陈毓川,等.2006.大规模成矿作用与大型矿集区.北京:地质出版社,1～533.

倪若水,吴其切,汪祥云,等.1994.安徽庐江龙桥铁矿层新资料及成矿作用多阶段演化模式.地质论评,40(6):565～575.

宁芜研究项目编写小组.1978.宁芜玢岩铁矿.北京:地质出版社,189～211.

牛宝贵,和政军,宋彪,等.2003.张家口组火山岩SHRIMP定年及其重大意义.地质通报,22(2):140～141.

任启江,刘孝善,徐兆文.1991.安徽庐枞中生代火山构造洼地及其成矿作用.北京:地质出版社,1～145.

唐永成,邢凤鸣,吴言昌,等.1998.安徽沿江地区铜金多金属矿床地质.北京:地质出版社,25～120.

王德滋,任启江,邱检生,等.1996.中国东部橄榄安粗岩省的火山岩特征及其成矿作用.地质学报,70(1):23～33.

王强,赵振华,熊小林,等.2001.底侵玄武质下地壳的熔融:来自安徽沙溪adakite质富钠石英闪长玢岩的证据.地球化学,30(4):353～360.

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.中国地质,31(2):169～173.

王彦斌,刘敦一,曾普胜,等.2004b,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.岩石矿物学杂志,23(4):298～304.

吴福元,葛文春,孙德有,等.2003.中国东部岩石圈减薄研究中的几个问题.地学前缘,10(3):51～55.

吴淦国,张达,狄永军,等.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.中国科学(D辑),38(5):630～645.

吴良士,邹晓秋.1997.江西城门山铜矿床Re-Os同位素年龄研究.矿床地质,16(4):376～381.

吴明安,张千明,汪祥云,等.1996.安徽庐江龙桥铁矿.北京:地质出版社.

吴明安,侯明金,赵文广.2007.安徽省庐枞地区成矿规律及找矿方向.资源调查与环境,28(4):269～277.

谢桂青,毛景文,李瑞玲,等.2008.鄂东南地区大型矽卡岩型铁矿床金云母^{40}Ar-^{39}Ar同位素年龄及其构造背景初探.岩石学报,24(8):1917～1927.

谢建成,杨晓勇,杜建国,等.2009.安徽铜陵新桥Cu-Au-Fe-S矿床黄铁矿Re-Os定年及成矿意义.地质科学,44(1):183～192

谢智,李全忠,陈江峰,等.2007.庐枞早白垩世火山岩的地球化学特征及其源区意义.高校地质学报,13(2):235～249.

徐晓春,陆三明,谢巧勤,等.2008.安徽铜陵狮子山矿田岩浆岩锆石SHRIMP定年及其成因意义.地质学报,82(4):500～507.

徐夕生,范钦成,O'Reilly S Y,等.2004.安徽铜官山石英闪长岩及其包体锆石U-Pb定年与成因探讨.科学通报,49(18):1883～1891

徐兆文,任启江,杨荣勇,等.1992.安徽庐枞地区脉状铜矿、铜金矿化分布规律和矿床模式.地质与勘探,28(1):8～15.

杨晓勇.2006.郯庐断裂带南段沙溪含铜斑岩体的$^{40}Ar/^{39}Ar$年代学研究及意义.矿物岩石,26(2):52～56.

杨晓勇,王奎仁,孙立广,等.2002.沙溪斑岩型铜(金)矿床成矿地球化学研究及靶区圈定.大地构造与成矿学,26(3):263～270.

袁见齐,朱上庆,翟裕生.1986.矿床学.北京:地质出版社.

袁峰,周涛发,范裕,等.2008.庐枞盆地中生代火山岩的起源、演化及形成背景.岩石学报,24(8):1691～1702.

余金杰,毛景文.2002.宁芜玢岩铁矿钠长石^{40}Ar-^{39}Ar定年及其意义.自然科学进展,12(10):1059～1063.

查世新.2003.庐枞北部火山一次火山成矿作用过程REE分异特征.合肥工业大学学报(自然科学版),26(6):1222～1226.

翟裕生,姚书振,林新多,等.1992.长江中下游地区铁铜(金)成矿规律.北京:地质出版社,12～35.

张乐骏,周涛发,范裕,等.2008.安徽月山岩体的锆石SHRIMP U-Pb定年及其意义.岩石学报,24(8):1725～1732.

张少斌.1992.从成矿地球化学角度论龙桥铁矿床成因.安徽地质,2(4):42～52.

赵珊茸,边秋娟,凌其聪.2004.结晶学与矿物学.北京:高等教育出版社,205～206.

周涛发,范裕,袁峰,等.2008a.安徽庐枞(庐江-枞阳)盆地火山岩的年代学及其意义.中国科学(D辑),38(11):1342～1349.

周涛发,范裕,袁峰.2008b.长江中下游成矿带成岩成矿作用研究进展.岩石学报,24(8):1665～1678.

Black L P, Kamo S L, Allen C M. 2004. Improved $^{206}Pb/^{238}U$ microprobe geochronology by the monitoring of a trace-element related matrix effect; SHRIMP, ID-TIMS, ELA-ICP-MS, and oxygen isotope documentation for a series of zircon standards. Chem. Geol., 205(1): 115～140.

Freydier C, Ruiz J, Chesley J, et al. 1997. Re-Os isotope systematics of sulfides from felsic igneous rocks: application to base metal porphyry mineralization in Chile. Geology, 25: 775～778.

Han Y G, Li X H, Zhang S H, et al. 2007. Single grain Rb-Sr dating of euhedral and cataclastic pyrite from the Qiyugou gold deposit in western Henan, central China. Chinese Science Bulletin, 52(13): 1820～1826.

Harris A C, Allen C M, Bryan S E, et al. 2004. LA-ICP-MS U-Pb zircon geochronology of regional volcanism hosting the Alumbrera Cu-Au deposit: implications for porphyry-related mineralization. Miner. Depos., 39(2): 46～67.

Li J W, Vasconcelos P M, Zhang J, et al. 2003. $^{40}Ar/^{39}Ar$ constraints on a temporal link between gold mineralization, magmatism, and continental margin transtension in the Jiaodong gold province, eastern China. Journal of Geology, 111(3): 741～751.

Ling M X, Wang F Y, Ding X, et al. 2009. Cretaceous ridge subduction along the lower Yangtze River belt, eastern China. Economic Geology, 104(2): 303～321.

Ludwig K R. 2003. ISOPLOT 3.00: a Geochronological Toolkit for Microsoft Excel. Berkeley Geochronology Center Special

http://www.geojournals.cn/dzxb/ch/index.aspx
Publication, 1～70.

Stein H J, Morgan J W, Schersten A. 2000. Re-Os dating of low-level highly radiogenic (LLHR) sulfides: the harnas gold deposit, southwest Sweden, records continental-scale tectonic events. Economic Geology, 95: 1657～1671.

Wang Q, Derek A W, Xu J F, et al. 2006. Petrogenesis of Cretaceous adakitic and shoshonitic igneous rocks in the Luzong area, Anhui Province (eastern China): implications for geodynamics and Cu-Au mineralization. Lithos, 89(3～4): 424～446.

Xie G Q, Mao J W, Li R L, et al. 2007. Re-Os molybdenite and Ar-Ar phlogopite dating of Cu-Fe-Au-Mo (W) deposits in southeastern Hubei, China. Mineralogy and Petrology, 90: 249～270.

Yang J H, Zhou X H. 2001. Rb-Sr, Sm-Nd, and Pb isotope systematics of pyrite: implications for the age and genesis of lode gold deposits. Geology, 29(8): 711～714.

Yang J, Wu F, Wilde S A. 2003. A review of the geodynamic setting of large-scale late Mesozoic gold mineralization in the North China Craton: an association with lithospheric thinning. Ore Geology Reviews, 23(1): 125～152.

Zircon U-Pb Dating of Ore-Bearing Magmatic Rocks and Its Constraint on the Formation Time of the Ore Deposits in Luzong Basin, Anhui Province

ZENG Jiannian[1)], QIN Yongjun[1)], GUO Kunyi[2)], CHEN Guoguang[2)], ZENG Yong[2)]

1) *The Faculty of Earth Resources, China University of Geoscience, Wuhan*, 430074;

2) *Nanjing Center of Geological Survey, CGS, Nanjing*, 210016

Abstract

Fe-Cu-Au mineralization in Luzong basin, Anhui Province, has close spatial, temporal and genetic relation to the Yanshanian magmatic activities. The research on the age of zircon U-Pb and its constraint in mineralization time shows that the mineralization of ore-bearing magmatic rocks in Luzong basin happened in 135～126 Ma and the geodynamic background of the mineralization corresponded with the two geological events occurring in Mesozoic in eastern China, which are the great transition of tectonic regime and the lithosphere large-scale detachment.

Key words: ore-bearing magmatic rocks; zircon U-Pb age; Fe-Cu-Au metallogenesis; metallogenic time; Luzong basin of Anhui Province