

安徽铜陵狮子山矿田岩浆岩锆石 SHRIMP 定年及其成因意义

徐晓春¹⁾, 陆三明^{1, 2)}, 谢巧勤¹⁾, 柏林³⁾, 储国正³⁾

1) 合肥工业大学资源与环境工程学院, 合肥, 230009; 2) 安徽省公益性地质调查管理中心, 合肥, 230001; 3) 安徽省地质矿产勘查局, 合肥, 230001

内容提要:铜陵狮子山矿田发育大量岩浆岩, 且与矿田中的铜-金-多金属成矿关系密切。锆石 SHRIMP 同位素精确定年表明, 矿田中的岩浆侵位年龄在 132.4~142.9Ma 之间, 即晚侏罗世—早白垩世, 属燕山早期晚阶段。矿田岩浆岩体是在同期岩浆活动中多次侵位形成的, 岩浆侵入活动可以划分为分别起始于 140Ma 前后和约 136Ma 的早晚两次。从岩浆上升侵位到冷却结晶的时间间隔均较短, 但其中白芒山辉石二长闪长岩冷却史相对较长, 且经历了早期深部岩浆房中的分离结晶作用和后期构造脉动、岩浆上升侵位、减压受热、早期晶体再熔蚀及冷却结晶的过程。结合主量元素和微量元素地球化学研究认为, 狮子山矿田岩浆演化的后期, 即起源于上地幔或下地壳的原生岩浆在同化了壳源物质并聚集到岩浆房中以后, 在滞留的过程中发生了一定程度的分离结晶作用, 但尚未固结, 成分上显示了一定的带状分布, 在区域构造应力松弛及构造事件诱发下, 随机地沿发育的构造裂隙先后上升侵位, 冷凝结晶。

关键词: 锆石 SHRIMP 定年; 岩浆岩; 岩浆演化; 狮子山矿田; 安徽铜陵

安徽铜陵地区位于长江中下游铁-铜-金-多金属成矿带的中部, 是中国重要的铜铁金硫矿床富集区之一。铜陵矿集区狮子山矿田 Cu、Au 成矿规模大, 与之有关的岩体也十分发育。区内铜-金-多金属矿床的形成与燕山期岩浆作用有着密切的时空和成因联系。前人对铜陵地区以及狮子山矿田内的岩浆岩从岩石学、岩石化学、微量元素地球化学和同位素地球化学等方面均做过大量的研究(周泰禧等, 1987; 周珣若等, 1993; 陈江峰等, 1993, 1994; 邢凤鸣等, 1995, 1996; 吴才来等, 1996, 2003; 唐永成等, 1998; 王强等, 2003; 黄顺生等, 2004; 杜杨松等, 2004), 取得了重要的研究成果, 但对于岩浆侵入期和侵入岩的形成时序, 长期存在争议, 进而影响了对于岩浆演化和岩浆岩成因机制以及相关的铜-金-多金属矿床成因的认识。本文对铜陵狮子山矿田内的主要侵入体——胡村花岗闪长岩、白芒山辉石二长闪长岩、冬瓜山石英二长闪长岩和鸡冠石石英二长闪长岩进行了锆石 SHRIMP 同位素精确定年, 确定了矿田内主要侵入体的形成年龄, 厘定了岩浆侵入活动的期

次和先后关系, 并结合岩浆岩的主量元素和稀土元素地球化学研究, 进一步探讨了狮子山矿田的岩浆演化和成岩机制。

1 地质概况

狮子山矿田是铜陵地区目前储量最大的铜金矿田。矿田内铜金矿床的矿体呈层状、似层状产出于志留系上统茅山组(S_3m)到三叠系中统东马鞍山组(T_2d)地层中。矿田内侵入岩非常发育, 地表出露的侵入体多达 20 个, 但规模均不大, 单个岩体面积约为 0.1~0.25km², 总面积约 3.0km²。岩体主要侵入于上泥盆统至下三叠统地层之中, 岩体边部顺层贯入围岩中。这些侵入体在浅部(-1000m 以上)构成一个浅成-超浅成相“树枝状”或大型网络状岩墙-岩枝系, 受矿田内网络状断裂构造系统控制明显; 在中深部(-1000~-2000m)岩体主要呈东西向、南北向和北东向展布; 根据航磁异常资料, 推测深部(-2000m 以下)岩体即连成一片(储国正, 2003), 而在铜陵隆起下面存在一个巨大的中酸性岩

注: 本文为国家自然科学基金项目(编号 40472052)资助的成果。

收稿日期: 2007-06-02; 改回日期: 2008-02-05; 责任编辑: 郝梓国。

作者简介: 徐晓春, 男, 1961 年生。现为合肥工业大学教授, 矿物学岩石学矿床学专业。通讯地址: 230009, 安徽省合肥市屯溪路 193 号, 合肥工业大学 10[#] 信箱; Email: xuxiaochun@hfut.edu.cn。

基(常印佛等,1991)。地表出露的主要岩体为胡村花岗闪长岩体、鸡冠石英二长闪长岩体、白芒山辉石二长闪长岩体等,深部为冬瓜山石英二长闪长岩体(地表亦称青山脚岩体)。这些侵入体多呈岩墙或岩枝产出,岩性以石英二长闪长岩($\eta\delta\sigma$)、花岗闪长岩($\gamma\delta$)为主,次为辉石二长闪长岩($\eta\delta\nu$)及二长花岗斑岩($\eta\gamma\pi$)和花岗闪长斑岩($\gamma\delta\pi$)脉(图 1)。伴随着岩浆的侵入作用,矽卡岩化、角闪岩化、大理岩化普遍发育,且向深部其热变质和蚀变范围也随之增大,有时矿体与岩体相伴相随。由此可见,岩浆作用是矿田成矿的关键因素。矿田广泛发育的 Cu、Au、S、Fe、(Pb、Zn)、Ag 等矿床与岩浆侵入作用密切相关,其中石英二长闪长岩和花岗闪长岩与铜(金、银、铅、锌、硫、铁)矿化关系密切,而辉石二长闪长岩主要与金、硫(银、铅、锌)矿化关系密切。

2 样品特征

本次针对狮子山铜金矿田侵入体的分布及岩性

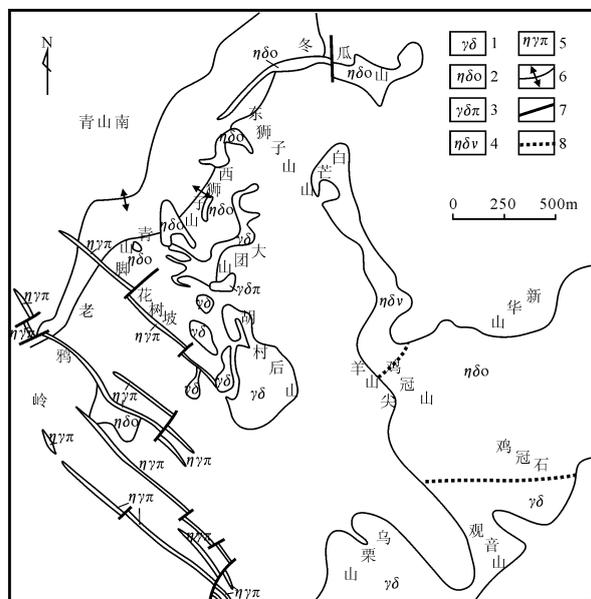


图 1 狮子山铜金矿田岩浆岩分布图

(据安徽省地矿局 321 地质队,1995,略改)

Fig. 1 Distribution sketch map of magmatic rocks in the Shizishan copper and gold ore-field (modified after 321 Geological Team of Bureau of Geology and Mineral Resources Exploration of Anhui Province, 1995)

1—花岗闪长岩; 2—石英二长闪长岩; 3—花岗闪长斑岩; 4—辉石二长闪长岩; 5—二长花岗斑岩; 6—小型背斜轴; 7—断裂; 8—推测岩体界线

1—Granodiorite; 2—quartz monzodiorite; 3—granodiorite porphyry; 4—pyroxene monzodiorite; 5—adamellite porphyry; 6—axis of minitype anticline; 7—fault; 8—inferred boundray of magmatic body

特征,选取了 4 个平面上自南而北、剖面上出露有浅有深、岩性上各不相同的岩石样品,其中 JGN-3、JGI-5 分别取自白芒山和鸡冠石露天采坑,岩石新鲜无蚀变,岩性分别为辉石二长闪长岩和石英二长闪长岩;DG-730-52 取自冬瓜山矿床—730m 中段,岩性为石英二长闪长岩;HC-1 岩性为花岗闪长岩,取自胡村矿床的钻孔岩芯中。

白芒山岩体北起曹山,经白芒山、簸箕山,南至鸡冠山,平面上呈北北西向岩墙状产出,长约 2km,宽 80~200m,最窄处仅为 30m,出露面积约 0.3km²。岩体中含尖晶石辉石岩、角闪石岩等深源包体及辉石、角闪石巨斑晶。岩体与围岩接触带发育大理岩化和 Au、Ag 等多金属矿化。岩石呈深灰色—浅黑色,自形一半自形粒状结构,主要矿物成份为斜长石($An=43\% \sim 52\%$, $60\% \sim 70\%$),次透辉石($10\% \sim 15\%$),其次为角闪石($6\% \sim 10\%$)、黑云母($3\% \sim 4\%$)、钾长石($3\% \sim 5\%$)。冬瓜山岩体(亦称青山脚岩体)地表近似椭圆形,长轴方向略显东西向,呈小岩株状,岩体与围岩接触带发育矽卡岩化,岩石具半自形粒状结构,主要矿物为斜长石($50\% \sim 60\%$),其次为石英($10\% \sim 15\%$)、钾长石($5\% \sim 10\%$)、角闪石($5\% \sim 8\%$)和黑云母($3\% \sim 7\%$)。胡村岩体呈不规则岩株状产出,岩体中含有富云包体,岩体接触带发育矽卡岩化及铜矿化,岩石为浅灰色,半自形—它形粒状结构,局部为似斑状结构,斑晶矿物为斜长石、石英和少量的钾长石。基质为中细粒的斜长石、石英、钾长石、黑云母。鸡冠石岩体平面呈南北走向,中深部呈岩墙状,边部见岩枝贯入围岩,浅部呈“岩枝状”超覆围岩之上,倾角 $20^\circ \sim 40^\circ$,深部倾向不定,空间上呈蘑菇状,岩石结构具有一定的分带性,边缘相发育不完整,为似斑状结构,中心相为中细粒结构。矿物成分在中心相和边缘相没有明显变化,主要矿物成分为斜长石(60%),次为石英($10\% \sim 15\%$)、钾长石(10%)、角闪石(5%)、黑云母(3%)。

3 SHRIMP U-Pb 同位素年代学实验方法

将采集的约 10kg 岩石大样破碎并精选出锆石,再从这些锆石中挑选出若干颗晶形完好的锆石待测。将待测的锆石与数粒锆石标样 TEM 置于环氧树脂中做成样品靶。将靶上的锆石磨至约一半,使其内部暴露,用于透射光、反射光和阴极发光 (CL) 研究及随后的 SHRIMP U-Pb 分析。CL 图像在中国地质科学院矿产资源研究所电子探针室完

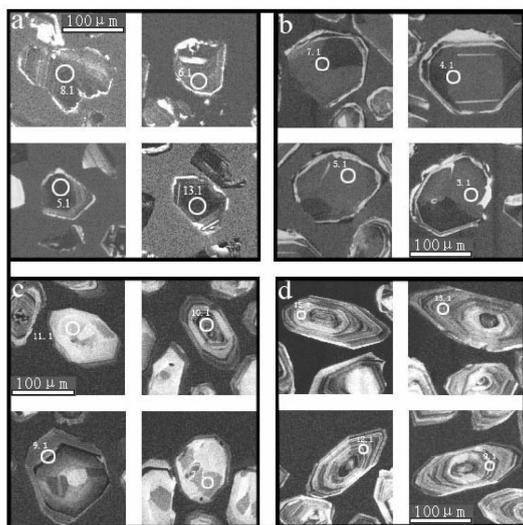


图2 狮子山矿田岩浆岩锆石阴极发光图象
Fig. 2 CL imaging of zircons from the magmatic rocks in Shizishan ore-field

(a)一白芒山辉石二长闪长岩；(b)一冬瓜山石英二长闪长岩；
(c)一胡村花岗岩；(d)一鸡冠石石英二长闪长岩
(a)—Baimangshan pyroxene monzodiorite; (b)—Dongguashan quartz monzodiorite; (c)—Hucun granodiorite; (d)—Jiguanshi quartz monzodiorite

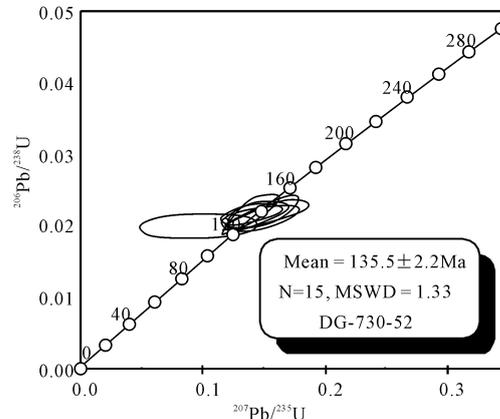
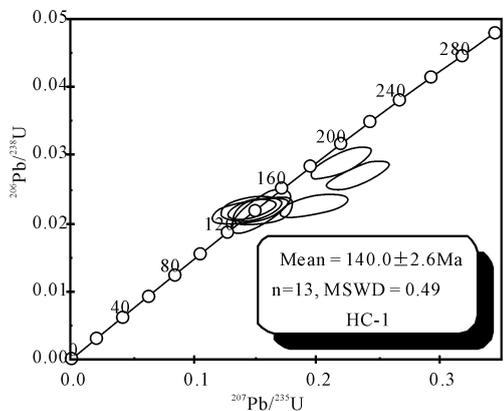
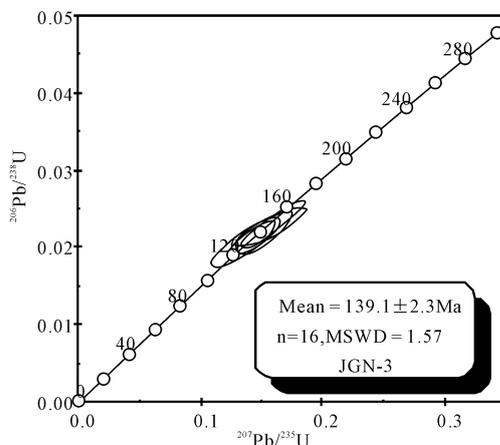
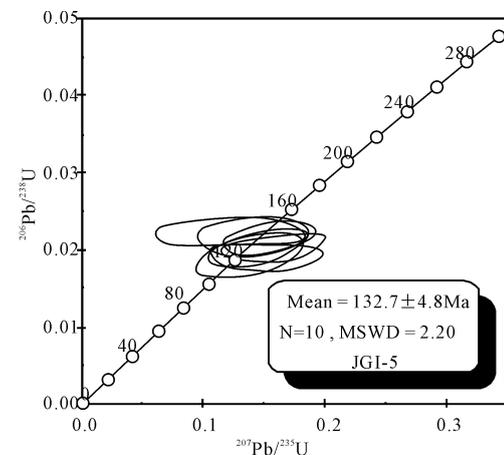


图3 岩浆岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄图谱

Fig. 3 SHRIMP U-Pb concordia diagram of zircons from the magmatic rocks

成,SHRIMP U-Pb 分析在中国地质科学院地质研究所北京离子探针中心的 SHRIMP II 上完成。一次离子源气体为氧气,将其电离后由 O_2^- 打击锆石颗粒,激发出铀、铅、钍、钽的氧化物离子或金属离子。测定 Zr_2O_3 、 ^{204}Pb 、 ^{206}Pb 、 ^{207}Pb 、 ^{208}Pb 、 ^{238}U 、 ^{248}ThO 、 ^{254}UO 质量峰的强度,每个峰的积分时间分别为 2、10、10、10、5、5、2、2s,每个点的数据是 5 次扫描的平均值。一次离子为约 4.5nA、10kV 的 O_2^- ,打到锆石上的束斑的直径为 25~30 μm ,质量分辨率约 5400(1%峰高)(Compston 1984,1992;Williams et al, 1987,1998)。待分析点与标样 TEM 的点交叉进行分析。应用 RSES(澳大利亚国立大学地球科学院)的锆石 SL13(572Ma)标定样品的 U、Th、Pb 含量,TEM(417Ma)进行年龄校正。数据处理采用 Ludwig 的 SQUID1.02 及 ISOPLOT 程序。普通铅根据实测的 ^{204}Pb 进行校正,同位素比值误差为 1σ ,加权平均年龄具 95% 的置信度。

4 实验结果

狮子山矿田 4 个代表性岩体锆石的 SHRIMP

U-Pb 同位素测定结果见表 1,其 CL 图象见图 2,谐和图见图 3。

由图 2 可见,白芒山辉石二长闪长岩(样品 JGN-3)锆石颗粒较小,呈不规则形状,锆石颗粒被溶蚀成港湾状,表面大多见溶蚀坑,环带较发育,但大多不完整、不对称,CL 图象为灰黑色,部分锆石不具灰白色的增生边,可能反映有后期热事件或流体作用的影响。结合离子探针的位置可以看出,锆石的阴极发光图像上灰度越深,则 U、Th 的含量越高,总体上该岩体锆石的 U、Th 含量均很高,分别为 $669 \times 10^{-6} \sim 4054 \times 10^{-6}$ 和 $1259 \times 10^{-6} \sim 10007 \times 10^{-6}$ 。17 个样品中除一个 Pb 丢失的测点外,其余 16 个点都比较一致, $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄集中在 $130.4 \pm 8.2\text{Ma} \sim 150.6 \pm 6.3\text{Ma}$,其加权权重平均值为 $139.1 \pm 2.3\text{Ma}$ ($n=16$,MSWD=1.57)。

胡村花岗闪长岩(样品 HC-1)中锆石的 CL 图象呈柱状,内部结构比较均匀,均发育有明显的多层同心韵律环带结构,为岩浆成因标志。用 SHRIMP 法测得的 16 个 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄除一个点为 $613.1 \pm 18.4\text{Ma}$,另 2 个为 $183.0 \pm 5.8\text{Ma}$ 和 $172.0 \pm 5.5\text{Ma}$ 外,其余 13 个点都比较一致,在 $132.8 \pm 6.6\text{Ma} \sim 147.4 \pm 4.7\text{Ma}$ 之间,在谐和曲线上成群分布,其加权权重平均值为 $140.0 \pm 2.6\text{Ma}$ ($n=13$,MSWD=0.49),代表岩体的侵位年龄。

石英二长闪长岩的代表性样品有两个,分别采用冬瓜山岩体和鸡冠石岩体。冬瓜山岩体锆石(样品 DG-730-52)的 CL 图象大多为无结构,边部具灰白色的增生边,锆石的阴极发光图像上灰度较深,U、Th 含量分别高达 $446 \times 10^{-6} \sim 738 \times 10^{-6}$ 和 $331 \times 10^{-6} \sim 1706 \times 10^{-6}$ 。15 个点 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄为 $128.0 \pm 4.0\text{Ma} \sim 144.3 \pm 4.5\text{Ma}$,在谐和图上数据点成群分布,给出了加权平均值 $135.5 \pm 2.2\text{Ma}$ ($n=15$,MSWD=1.33)的年龄值。鸡冠石石英二长闪长岩(样品 JGI-5)锆石 CL 图象大多数具岩浆型韵律环带结构,除个别 Pb 丢失的点外,11 个点 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄为 $119.6 \pm 4.6\text{Ma} \sim 142.7 \pm 4.8\text{Ma}$,在谐和图上数据点成群分布,给出年龄为 $132.7 \pm 4.8\text{Ma}$ ($n=11$,MSWD=2.20)。

5 讨论

铜陵地区是长江中下游地区重要的铜-金-硫-铁矿集区,以往很多地质学者就对该区开展了较为深入的基础地质及岩石学、岩石化学、微量元素地球化学和同位素地球化学研究,取得了重要的研究成果。

对于铜陵地区岩浆岩的成因机制,常印佛等(1991)、陈江峰等(1993)、邓晋福等(2001)认为其原生(始)岩浆来源于上地幔,是上地幔局部熔融产生的。邢凤鸣等(1996)、唐永成等(1998)认为铜陵地区岩浆岩是亏损地幔岩浆同化下地壳并通过 AFC 混合机制形成的。杜杨松等(1997)、吴才来等(2003)、徐兆文等(2004)认为是幔源岩浆和壳源岩浆混合作用形成的。狄永军等(2005)研究认为,该区岩浆岩是三端元岩浆混合形成的。对于岩浆岩的侵位时代,观点基本一致,已有的同位素地质年代学研究认为,该区岩浆岩形成于晚侏罗世一早白垩世,均属燕山早期晚阶段,然而,对于岩浆岩的侵位时序观点却不同。

狮子山矿田岩浆岩体野外接触关系显示为相互穿插,难分早晚(储国正,2003)。李进文(2004)研究认为,狮子山矿田岩浆岩的侵位时序由早到晚为:辉石二长闪长岩→石英二长闪长岩→花岗闪长岩,即所谓的正常演化序列;而常印佛等(1991)研究则认为狮子山矿田岩浆岩为逆演化序列。

对于岩浆岩的成因机制和演化序列,首先涉及到岩浆岩的侵位年龄和顺序。表 2 列出的是包括本次 SHRIMP 定年在内的不同时期、不同方法获得的狮子山矿田岩浆岩同位素年龄数据。结果显示,除全岩 K-Ar 法、全岩-单矿物 Rb-Sr 法同位素年龄数据较为分散以外,全岩 Rb-Sr 等时线法、黑云母 Ar-Ar 法和锆石 SHRIMP 法定年给出的结果都较为一致,同位素年龄主要集中在 $132.7 \sim 142.9\text{Ma}$ 之间,即晚侏罗世一早白垩世,均属燕山早期晚阶段,与铜陵地区其它岩浆岩的形成时代一致(王彦斌等 2004;中国地质科学院等,2003)。

表 2 表明,本次锆石 SHRIMP 定年结果与王彦斌等(2004)SHRIMP 定年结果基本一致,对白芒山辉石二长闪长岩分别给出了 $139.1 \pm 2.3\text{Ma}$ 和 $142.9 \pm 1.1\text{Ma}$ 的年龄数据,在误差范围内基本一致。而锆石 SHRIMP 定年结果与侵入岩黑云母 Ar-Ar 法年龄数据也有较好的可比性;吴才来等(1996)采用黑云母 Ar-Ar 同位素定年方法获得狮子山矿田冬瓜山石英二长闪长岩、白芒山辉石二长闪长岩和胡村花岗闪长岩 3 个主要岩浆岩体同位素年龄非常接近,为 $135.8 \pm 1.1\text{Ma}$ 、 $136.6 \pm 1.1\text{Ma}$ 、 $139.8 \pm 0.8\text{Ma}$,相应地,本次获得该 3 个岩体的 SHRIMP-U-Pb 年龄分别为 $135.5 \pm 2.2\text{Ma}$ 、 $139.1 \pm 2.3\text{Ma}$ 、 $140.0 \pm 2.6\text{Ma}$ 。总体来看,每一岩体的年龄数据在误差范围内一致或相近,但显示 Ar-Ar

表1 狮子山矿田岩浆岩锆石 SHRIMP U-Pb 分析结果

Table 1 The results of SHRIMP U-Pb isotopic analyses for zircons from the magmatic rocks in Shizishan ore-field

点号	$^{206}\text{Pb}_e$ (%)	U	Th	$^{232}\text{Th}/$ ^{238}U	$^{206}\text{Pb}^*$ ($\times 10^{-6}$)	年龄(Ma)		同位素比值					
		($\times 10^{-6}$)				$^{206}\text{Pb}/$ ^{238}U	$^{207}\text{Pb}/$ ^{206}Pb	$^{207}\text{Pb}^*/$ $^{206}\text{Pb}^*$	$\pm\%$	$^{207}\text{Pb}^*/$ ^{235}U	$\pm\%$	$^{206}\text{Pb}^*/$ ^{238}U	$\pm\%$
HC-1													
1.1	0.20	285	213	0.77	5.39	140.2 \pm 4.5	319 \pm 91	0.0528	4.0	0.1600	5.2	0.02199	3.2
2.1	0.52	384	335	0.90	7.36	141.5 \pm 4.5	67 \pm 130	0.0474	5.4	0.1448	6.3	0.02219	3.2
3.1	0.08	474	96	0.21	40.7	613.1 \pm 18.4	1 \pm 60	0.0764	3.0	1.050	4.3	0.0998	3.1
4.1	0.19	354	156	0.45	8.78	183.0 \pm 5.8	421 \pm 66	0.0552	3.0	0.2193	4.4	0.02880	3.2
5.1	0.50	379	356	0.97	7.17	139.6 \pm 4.5	184 \pm 120	0.0498	5.1	0.1502	6.0	0.02190	3.2
6.1	0.54	272	148	0.56	5.01	136.1 \pm 4.5	205 \pm 190	0.0502	8.3	0.148	9.0	0.02134	3.4
7.1	0.22	396	364	0.95	7.39	138.3 \pm 4.9	229 \pm 88	0.0507	3.8	0.1518	5.2	0.02169	3.6
8.1	0.61	385	264	0.71	7.38	141.5 \pm 4.5	59 \pm 140	0.0472	5.7	0.1444	6.6	0.02219	3.2
9.1	0.00	350	307	0.91	6.55	139.1 \pm 4.4	256 \pm 73	0.0513	3.2	0.1543	4.5	0.02181	3.2
10.1	0.24	417	358	0.89	7.90	140.3 \pm 4.4	202 \pm 97	0.0502	4.2	0.1522	5.3	0.02201	3.2
11.1	0.13	467	369	0.82	8.37	132.8 \pm 6.6	318 \pm 68	0.0528	3.0	0.1514	5.9	0.0208	5.0
12.1	0.85	446	313	0.73	8.70	143.5 \pm 4.6	712 \pm 96	0.0631	4.5	0.196	5.5	0.02251	3.2
13.1	0.30	276	125	0.47	6.42	172.0 \pm 5.5	689 \pm 63	0.0624	3.0	0.233	4.4	0.02704	3.2
14.1	0.15	366	262	0.74	7.27	147.4 \pm 4.7	214 \pm 78	0.0504	3.4	0.1607	4.6	0.02313	3.2
15.1	0.72	233	180	0.80	4.33	137.1 \pm 4.5	30 \pm 120	0.0466	5.2	0.1382	6.2	0.02149	3.3
16.1	0.00	342	212	0.64	6.42	139.3 \pm 4.5	301 \pm 78	0.0524	3.4	0.1577	4.7	0.02185	3.3
JGN-3													
1.1	0.03	2416	7886	3.37	42.6	131.0 \pm 4.0	158 \pm 32	0.04920	1.4	0.1392	3.4	0.02052	3.1
2.1	0.00	928	3724	4.15	18.3	146.4 \pm 4.6	238 \pm 60	0.0509	2.6	0.1613	4.1	0.02296	3.1
3.1	0.00	2027	4902	2.50	38.2	140.0 \pm 4.3	197 \pm 30	0.05005	1.3	0.1515	3.4	0.02196	3.1
4.1	0.19	858	1425	1.72	16.5	142.5 \pm 4.4	150 \pm 50	0.0490	2.1	0.1511	3.8	0.02235	3.2
5.1	0.17	669	5490	8.48	12.7	140.4 \pm 4.4	266 \pm 59	0.0516	2.6	0.1566	4.1	0.02202	3.2
6.1	0.35	715	4018	5.81	13.3	137.7 \pm 4.3	143 \pm 89	0.0489	3.8	0.1456	4.9	0.02159	3.2
7.1	0.30	1377	2743	2.06	25.7	138.0 \pm 4.3	107 \pm 58	0.0482	2.4	0.1437	4.0	0.02164	3.1
8.1	0.10	891	7414	8.59	18.1	150.6 \pm 6.3	262 \pm 46	0.0515	2.0	0.1678	4.7	0.0236	4.2
9.1	0.00	750	4096	5.64	15.1	149.7 \pm 4.7	322 \pm 52	0.0528	2.3	0.1712	3.9	0.02350	3.2
10.1	0.10	1150	2437	2.19	22.3	143.6 \pm 4.4	140 \pm 50	0.0488	2.1	0.1517	3.8	0.02253	3.1
11.1	0.00	811	1259	1.60	15.4	140.7 \pm 4.6	231 \pm 88	0.0508	3.8	0.1545	5.0	0.02207	3.3
12.1	0.02	4054	4842	1.23	75.6	138.4 \pm 4.3	211 \pm 51	0.0504	2.2	0.1507	3.8	0.02171	3.1
13.1	0.32	859	6400	7.70	15.6	134.4 \pm 4.2	111 \pm 83	0.0482	3.5	0.1402	4.8	0.02107	3.2
14.1	0.08	2573	7808	3.13	47.2	136.1 \pm 4.2	130 \pm 40	0.04863	1.7	0.1431	3.6	0.02134	3.1
15.1	0.25	2069	2093	1.05	36.4	130.4 \pm 8.2	47 \pm 87	0.0470	3.7	0.1323	7.4	0.0204	6.4
16.1	0.00	97	46	0.49	9.91	722.8 \pm 22.7	936 \pm 52	0.0703	2.5	1.149	4.2	0.1187	3.3
17.1	0.06	2035	10007	5.08	36.1	131.5 \pm 4.1	311 \pm 53	0.0526	2.3	0.1494	3.9	0.02061	3.1
JGI-5													
1.1	2.27	219	169	0.80	4.30	142.7 \pm 4.8	-468 \pm 530	0.0382	20	0.118	20	0.02238	3.4
2.1	0.79	85	57	0.70	1.42	124.2 \pm 8.1	294 \pm 250	0.0522	11	0.140	13	0.0195	6.6
3.1	0.00	227	152	0.69	4.10	134.3 \pm 4.4	552 \pm 87	0.0586	4.0	0.1701	5.2	0.02105	3.3
4.1	0.96	95	81	0.89	1.68	130.8 \pm 4.9	544 \pm 180	0.0584	8.2	0.165	9.0	0.02049	3.8
5.1	2.18	82	57	0.72	1.46	129.8 \pm 4.8	206 \pm 250	0.0502	11	0.141	11	0.02034	3.7
6.1	2.20	99	96	1.00	1.94	141.6 \pm 5.4	12 \pm 310	0.0463	13	0.142	14	0.02221	3.8
7.1	0.76	74	47	0.65	7.80	737.0 \pm 23.1	642 \pm 83	0.0611	3.8	1.020	5.1	0.1211	3.3
8.1	0.69	283	186	0.68	5.21	135.5 \pm 4.4	145 \pm 120	0.0489	5.1	0.1433	6.1	0.02124	3.3
9.1	0.00	444	439	1.02	8.06	134.8 \pm 4.3	214 \pm 78	0.0504	3.4	0.1469	4.7	0.02114	3.2
10.1	1.17	107	84	0.81	1.81	124.5 \pm 4.6	235 \pm 240	0.0509	10	0.137	11	0.01950	3.7
11.1	0.00	83	60	0.74	1.34	119.6 \pm 4.6	713 \pm 170	0.0631	8.0	0.163	8.9	0.01873	3.9
12.1	1.30	139	122	0.91	2.62	138.2 \pm 4.7	155 \pm 170	0.0491	7.4	0.147	8.2	0.02167	3.4

续表 1

点号	$^{206}\text{Pb}_e$ (%)	U ($\times 10^{-6}$)	Th ($\times 10^{-6}$)	$^{232}\text{Th}/$ ^{238}U	$^{206}\text{Pb}^*$ ($\times 10^{-6}$)	年龄(Ma)		同位素比值					
						$^{206}\text{Pb}/$ ^{238}U	$^{207}\text{Pb}/$ ^{206}Pb	$^{207}\text{Pb}^*/$ $^{206}\text{Pb}^*$	$\pm\%$	$^{207}\text{Pb}^*/$ ^{235}U	$\pm\%$	$^{206}\text{Pb}^*/$ ^{238}U	$\pm\%$
						DG-730-52							
1.1	0.23	550	937	1.76	10.1	136.4 \pm 4.4	356 \pm 96	0.0536	4.2	0.1581	5.4	0.02138	3.3
2.1	2.27	552	1071	2.01	9.75	128.2 \pm 4.5	795 \pm 550	0.0339	20	0.094	20	0.02008	3.5
3.1	0.33	489	863	1.82	9.32	141.0 \pm 4.5	366 \pm 94	0.0539	4.2	0.1643	5.3	0.02212	3.2
4.1	0.83	518	972	1.94	9.73	138.3 \pm 4.4	77 \pm 170	0.0476	7.0	0.142	7.7	0.02169	3.2
5.1	0.13	456	784	1.78	8.81	143.1 \pm 4.5	293 \pm 69	0.0522	3.0	0.1615	4.4	0.02245	3.2
6.1	0.32	493	981	2.05	9.63	144.3 \pm 4.5	2 \pm 94	0.0461	3.9	0.1439	5.0	0.02264	3.2
7.1	0.35	738	1706	2.39	13.5	134.8 \pm 4.2	191 \pm 62	0.0499	2.7	0.1455	4.1	0.02113	3.2
8.1	0.22	528	950	1.86	9.85	138.2 \pm 4.4	29 \pm 100	0.0466	4.2	0.1393	5.3	0.02167	3.2
9.1	0.00	739	331	0.46	13.6	136.4 \pm 4.3	223 \pm 58	0.0506	2.5	0.1493	4.0	0.02139	3.2
10.1	0.33	468	845	1.87	8.10	128.0 \pm 4.2	143 \pm 110	0.0489	4.5	0.1352	5.6	0.02006	3.3
11.1	0.52	446	750	1.74	7.82	129.4 \pm 4.2	237 \pm 100	0.0509	4.5	0.1424	5.5	0.02028	3.3
12.1	0.50	514	996	2.00	9.06	130.4 \pm 4.1	128 \pm 86	0.0486	3.7	0.1369	4.9	0.02044	3.2
13.1	0.00	542	1151	2.20	9.89	135.6 \pm 4.3	381 \pm 60	0.0542	2.7	0.1590	4.2	0.02125	3.2
14.1	0.20	502	915	1.88	9.11	134.5 \pm 4.3	43 \pm 89	0.0469	3.7	0.1363	4.9	0.02108	3.2
15.1	0.50	571	1173	2.12	10.5	136.1 \pm 4.4	58 \pm 140	0.0472	5.9	0.1388	6.8	0.02134	3.3

注:误差为 1σ ; Pb_e 和 Pb^* 分别表示普通铅和放射性成因铅;标准标度误差为 0.68% (不包括在上述误差内,但包括不同样品靶的数据比较);普通铅校正应用实测的 ^{204}Pb 值。

法年龄小于 SHRIMP 年龄,反映封闭温度对同位素年龄的影响。一般地,黑云母的结晶封闭温度偏低,约为 250~350 $^{\circ}\text{C}$,年龄偏小,代表岩浆冷却年龄;而锆石的结晶封闭温度较高,约为 600~750 $^{\circ}\text{C}$,年龄略大,代表岩浆侵位年龄。由 3 个代表性岩体的 Ar-Ar 年龄和 SHRIMP 年龄比较可见,它们从上升侵位到冷却结晶的时间均较短,但其中白芒山辉石二长闪长岩的冷却历史略长,而且岩体中锆石的晶形明显受熔蚀呈港湾状,晶体表面有熔蚀坑,这表明白芒山辉石二长闪长岩中的锆石及其寄主岩浆岩在其结晶后又曾受到熔蚀,而其熔蚀显然与岩浆温度的升高有关。一般地,岩浆温度的升高与岩浆结晶作用释放的潜热有关,或与深部岩浆上升补给提供的热量有关,或者是深部岩浆上升侵位减压升温所致。杜杨松等(2004a, b)发现了白芒山岩体中的辉长质岩石包体并进行了研究,认为早期中基性的演化岩浆起源温度为 1049 $^{\circ}\text{C}$,压力为 7.8kPa,相当于深度 26km,即位于下地壳硅镁层的深位岩浆房。一方面在深位岩浆房中发生分异结晶作用,形成辉石巨晶和角闪石巨晶及其堆晶岩,另一方面又因构造脉动而上升侵位,携带早期形成的岩石包体及结晶矿物,并在浅部减压升温,抑或深部岩浆上升补给过程中受到熔蚀,随后再迅速冷却结晶形成中细粒结构的辉石二长闪长岩。

表 2 的数据还表明,狮子山矿田内这些侵入岩

体应该是在同期岩浆活动中多次脉动侵位形成的。依据锆石 SHRIMP 年龄,结合黑云母 Ar-Ar 年龄,岩浆侵入活动大致可以划分为 2 次:第一次发生于 140Ma 前后,即岩浆侵位起始于约 142Ma,结晶终止于约 136Ma,代表性侵入体为胡村花岗闪长岩和白芒山辉石二长闪长岩体;在一个较为短暂的间歇期后,即在 136Ma 左右岩浆发生再一次侵位,形成石英二长闪长岩,代表性岩体有冬瓜山石英二长闪长岩岩体和鸡冠石石英二长闪长岩岩体。由此,同位素地质年代学研究表明,狮子山矿田 3 种岩性的岩体形成时序是,偏酸性的花岗闪长岩和偏基性岩的辉石二长闪长岩侵位较早,而相对中性的石英二长闪长岩形成较晚,表现出不同于鲍文反应序列的“反序”的现象。

本区岩浆岩微量元素和稀土元素地球化学特征表现出明显的相似性,反映其具有相同的物质来源,是同源岩浆演化的结果。而且从辉石二长闪长岩到石英二长闪长岩再到花岗闪长岩,稀土元素具有一致的演化趋势,即稀土总浓度逐渐降低,说明从偏基性岩到偏酸性岩,岩浆的分异程度增加(Xu et al, 2006)。吴才来等(1994)根据锆石群指数分析表明,原始岩浆物质来源于地幔源和地壳源的混合,且从辉石二长闪长岩到石英二长闪长岩再到花岗闪长岩,幔源成分越来越少,壳源成分越来越多。白芒山辉石二长闪长岩不相容元素具有高出原始地幔值

表 2 狮子山矿田岩浆岩同位素地质年龄

Table 2 Isotopic ages of the magmatic rocks from Shizishan ore-field

序号	岩体	岩性	测试对象	测试方法	年龄值(Ma)	资料来源
1	胡村	花岗闪长岩	黑云母	Ar-Ar	139.8±0.8	吴才来等, 1996
2			锆石	SHRIMP U-Pb	140.0±2.6	本文
3			全岩	K-Ar	147	Wu et al., 2000
4	白芒山	辉石二长闪长岩	黑云母	Ar-Ar	136.6±1.1	吴才来等, 1996
5			锆石	SHRIMP U-Pb	142.9±1.1	王彦斌等, 2004
6			锆石	SHRIMP U-Pb	139.1±2.3	本文
7			全岩	K-Ar	147	Wu et al., 2000
8			全岩	Rb-Sr 等时线	139.6±9	徐兆文等, 2004
9			角闪石辉石岩	Rb-Sr 等时线	140	唐永成等, 1998
10		碱长辉长岩	全岩	Rb-Sr 等时线	145	唐永成等, 1998
11	白芒山	石英二长闪长岩	斜长石、黑云母、全岩	Rb-Sr 等时线	116	Wu et al., 2000
12		全岩		Rb-Sr 等时线	135.6±1.4	徐兆文等, 2004
13	冬瓜山		黑云母	Ar-Ar	135.8±1.1	吴才来等, 1996
14			锆石	SHRIMP U-Pb	135.5±2.2	本文
15	鸡冠石	石英二长闪长岩	锆石	SHRIMP U-Pb	132.7±4.8	本文
16	狮子山	石英二长闪长岩	全岩	Rb-Sr 等时线	137	唐永成等, 1998

100~300倍, Cr、Ni 具有异常低的丰度值以及辉石和角闪石堆晶岩的发现, 均表明岩浆起源于下地壳或上地幔物质的部分熔融(徐兆文等, 2004; 邢凤鸣等, 1998)。在 La/Sm-La 图解(图 4)上, 本区岩浆岩的投点大致沿一条水平直线分布, 与冰岛及其附近火山岩套及我国西藏冈底斯花岗岩类在 La/Sm-La 图解上所显示的岩浆分离结晶过程一致(涂光炽, 1982)。

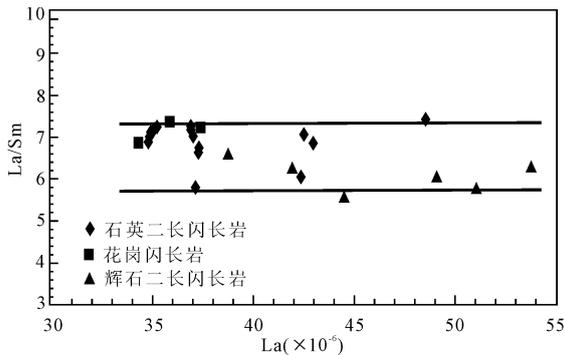


图 4 岩浆岩 La/Sm-La 图解

Fig. 4 La/Sm-La diagram of the magmatic rocks

岩浆岩主量元素哈克图解(图 5)显示 SiO_2 与其它主量元素具有明显的相关性, 随着 SiO_2 的增加, FeO 、 MgO 、 CaO 、 TiO_2 呈减小趋势, 而 K_2O 、 Al_2O_3 和 Na_2O 基本没有变化, 这表明不同类型岩石之间具有密切的成因联系, 是同源岩浆演化的结果, 并且以铁质为主的矿物如辉石、角闪石、钛铁矿等的结晶分离可能在岩浆演化过程中起着非常重要的作用。

对于矿田岩浆岩的形成机制, 储国正(2003)提出了“双扩散对流”模式, 认为双扩散对流作用导致岩浆房中发生组分分带和热分带, 形成多层带状岩浆房, 进而由构造作用先后分别把不同层带上的岩浆导入已存在的构造裂隙中。但从岩体地质特征、岩体中辉石和角闪石堆晶岩及辉石质岩石包体的发现, 以及岩浆岩主量元素哈克图解和稀土元素 La/Sm-La 图解来看, 在岩浆岩形成过程中发生了明显的以镁铁质矿物为主的分离结晶作用。

6 结论

综上所述, 锆石 SHRIMP 同位素精确定年表明, 矿田中的岩浆侵入年龄在 132.7~142.9Ma 之间, 即晚侏罗世—早白垩世, 均属燕山早期晚阶段。矿田侵入岩体是在同期岩浆活动中多次脉动式侵入形成的, 岩浆侵入活动可以划分为分别起始于 140Ma 前后和约 136Ma 的早晚两次。结合岩体产状以及主量元素和稀土元素地球化学研究, 本文认为, 铜陵狮子山矿田岩浆演化的后期, 即起源于上地幔或下地壳的原生岩浆在同化了壳源物质并聚集到岩浆房中以后, 在滞留的过程中发生了一定程度的分离结晶作用(抑或伴有熔离分异作用), 但尚未固结, 成分上显示了一定的带状分布。在区域构造环境由晚侏罗世(J_3)挤压转化为早白垩世(K_1)拉张的构造背景下, 由于应力的松弛以及构造事件的频发, 诱发了深部岩浆房中岩浆的上升侵位。岩浆房垂向上不同部位已开始结晶分异作用, 但仍呈流体状态的岩浆可能与先后发育的构造裂隙相沟通, 岩浆随

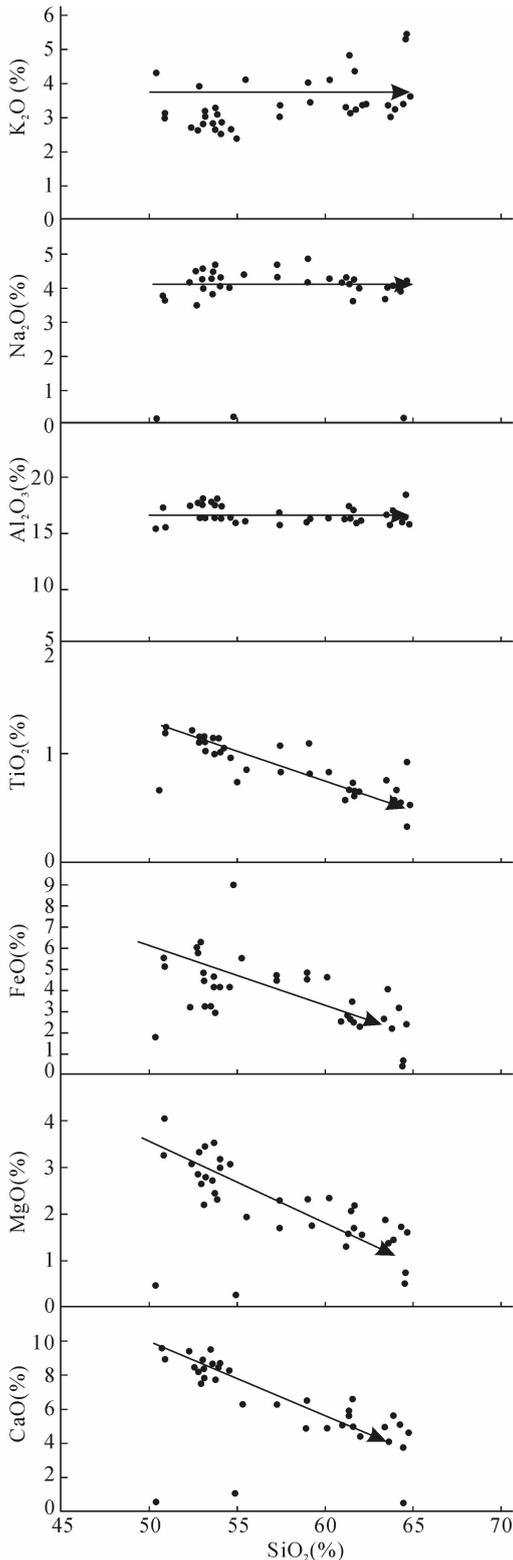


图 5 岩浆岩主要元素图解

Fig. 5 Harker figure of the magmatic rocks

石英二长闪长岩岩浆上侵形成石英二长闪长岩。矿田岩浆的冷却历史均较短,但其中白芒山辉石二长闪长岩冷却史相对较长,显示其不仅经历了早期深部岩浆房中的分离结晶作用和后期构造脉动、岩浆上升侵位及冷却结晶过程,而且该岩浆侵位后可能受到岩浆上升侵位减压升温抑或深部岩浆上升补给导致的早期晶体再熔蚀以及从岩浆侵位到结晶时间间隔的延长,其对矿田铜-金-多金属矿床成矿的影响值得进一步研究。

致谢: 研究工作得到国家自然科学基金的支持,锆石 SHRIMP 定年得到刘敦一研究员的大力帮助,论文得到常印佛院士和陈江峰教授的审阅,谨此一并致谢。

注 释

- ① 安徽省地矿局 321 地质队. 1995. 安徽沿江重要成矿区铜及有关矿产勘查研究报告.
- ② 中国地质科学院和安徽省地质调查院. 2003. 铜陵大型矿集区深部精细结构和含矿信息项目研究报告.

参 考 文 献

- 常印佛, 刘湘培, 吴言昌. 1991. 长江中下游铁铜成矿带. 北京: 地质出版社.
- 陈江峰, 周泰禧, 李学明, Foland K A, 黄承义, 卢伟. 1993. 安徽南部燕山中酸性侵入岩源区的锶-钕同位素制约. 地球化学, (3): 263~268.
- 陈江峰, 周泰禧, 邢凤鸣, 徐祥, 徐立华. 1994. 长江中下游岩带含铜岩体的 Pb、Sr、Nd 同位素特征. 地质学报-中国地质科学院院报, (1-2): 111~116.
- 储国正. 2003. 铜陵狮子山铜金矿田成矿系统及其找矿意义. 中国地质大学博士学位论文, 1~164.
- 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.
- 杜杨松, 李学军. 1997. 安徽铜陵典型矿区岩石包体及其岩浆-成矿作用过程探讨. 高校地质学报, 3(2): 171~182.
- 杜杨松, 秦新龙, 李铨具. 2004a. 安徽铜陵地区中生代幔源岩浆底侵作用——来自矿物巨晶和岩石包体的证据. 岩石矿物学杂志, 23(2): 109~116.
- 杜杨松, 李铨具. 2004b. 安徽铜陵岩浆岩中辉长质岩石包体的发现及其地质意义. 高校地质学报, 10(3): 332~342.
- 狄永军, 赵海玲, 吴淦国, 张达, 臧文拴, 刘清华. 2005. 铜陵地区燕山中侵入岩成因与三端元岩浆混合作用. 地质论评, 51(5): 528~538.
- 黄顺生, 徐兆文, 顾连兴, 华明, 陆现彩, 陆建军, 聂桂平, 朱士鹏. 2004. 安徽铜陵狮子山矿田岩浆岩地球化学特征及成因机制探讨. 高校地质学报, 10(2): 217~226.
- 李进文. 2004. 铜陵矿集区矿田构造控矿与成矿化学动力学研究. 中国地质科学院博士学位论文, 1~142.
- 唐永成, 吴言昌, 储国正, 邢凤鸣, 王永敏, 曹奋扬, 常印佛. 1998. 安徽沿江地区铜金多金属矿床地质. 北京: 地质出版社, 1~351.
- 涂光炽. 1982. 地球化学. 上海: 上海科学技术出版社.
- 王强, 许继峰, 赵振华, 熊小林, 包志伟. 2003. 安徽铜陵地区燕山

机地先后上升侵位, 冷凝结晶。位于岩浆房上部的花岗闪长岩浆和底部的辉石二长闪长岩浆较早地与构造裂隙相沟通受挤压上升侵位、冷凝结晶, 其后是

- 期侵入岩的成因及其对深部动力学过程的制约. 中国科学(D辑), 33(4): 323~334.
- 王彦斌, 刘敦一, 曾普胜, 杨竹森, 田世洪. 2004. 安徽铜陵地区幔源岩浆底侵作用的时期-朝山辉石闪长岩锆石 SHRIMP 定年. 地球学报, 25(4): 423~427.
- 吴才来, 周珣若, 黄许陈, 张成火. 1994. 铜陵地区中酸性侵入岩锆石群结晶特征及成因. 岩石矿物学杂志, 13(3): 239~247.
- 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. 岩石矿物学杂志, 15(4): 299~306.
- 吴才来, 陈松永, 史仁灯, 郝美英. 2003. 铜陵中生代中酸性侵入岩特征及成因. 地球学报, 24(1): 41~48.
- 吴言昌. 1992. 论岩浆矽卡岩——一种新类型矽卡岩. 安徽地质, 1(2): 12~26.
- 吴言昌, 常印佛. 1998. 关于岩浆矽卡岩问题. 地学前缘, 5(4): 291~301.
- 邢凤鸣, 徐祥. 1995a. 铜陵鸡冠山岩体中的堆晶淬冷包体. 岩石矿物学杂志, 14(1): 19~25.
- 邢凤鸣, 徐祥. 1995b. 安徽沿江地区中生代岩浆的基本特点. 岩石学报, 11(4): 409~422.
- 邢凤鸣, 徐祥. 1996. 铜陵地区高钾钙碱性系列侵入岩. 地球化学, 25(1): 29~38.
- 邢凤鸣. 1998. 扬子岩浆岩带东段基性岩地球化学. 地球化学, 27(3): 258~268.
- 徐兆文, 方长泉, 陆现彩, 陆建军, 蒋少涌, 高庚, 王云健. 2004. 铜陵狮子山矿田岩浆成因机制探讨. 全国岩浆岩研究发展战略研讨会暨第三届花岗岩成因与地壳演化学术讨论会论文及摘要集. 南京: 南京大学, 117~119.
- 周泰禧, 李学明, 赵俊深, 张富陶. 1987. 安徽铜陵铜官山矿田火成岩的同位素地质年龄. 中国科学技术大学学报, 17(3): 403~407.
- 周珣若, 吴才来, 黄许陈, 张成火. 1993. 铜陵中酸性侵入岩同源包体特征及岩浆动力学. 岩石矿物学杂志, 12(1): 20~31.
- Chang Yinuo, Liu Xiangpei, Wu Yanchang. 1991. The copper-iron belt of the lower and middle reaches of the Changjiang River. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese with English abstract).
- Chen Jingfeng, Zhou Taixi, Li Xueming, K A Foland, Huang Chengyi, Lu Wei. 1993. Sr and Nd isotopic constraints on source regions of the intermediate and acid intrusions from southern Anhui Province. Geochimica. (3): 263~268 (in Chinese with English abstract).
- Chen Jiangfeng, Zhou Taixi, Xing Fengming, Xu Xiang, Xu Lihua. 1994. Pb, Sr, and Nd isotope characteristics of copper-bearing rocks from middle-low area of Yangtze. Acta Geoscientia Sinica, (1-2): 111~116 (in Chinese with English abstract).
- Chu Guozheng. 2003. The Metallogenic System and its Implications for Deposit Exploration in the Cu and Au ore field of shizishan, Tongling. China university of geosciences doctor degree paper, 1~164 (in Chinese with English abstract).
- Compston W, Williams I S, Meyer C. 1984. U-Pb geochronology of zircons from lunar breccia 73217 using a sensitive high mass-resolution microprobe. Journal of Geophysical Research, 89(Sup.): B325~534.
- Compston W, Williams I S, Kirschvink J L, Zhang Zicao, Ma Guogan. 1992. Zircon U-Pb ages for the early Cambrian time-scale. Journal of Geological Society. 149: 171~184.
- Deng Jinfu, Wu Zongxu. 2001. Lithospheric thinning event in the lower Yangtze craton and Cu-Fe metallogenic belt in the middle and lower Yangtze River Reaches. Geology of Anhui, 11(2): 86~91 (in Chinese with English abstract).
- Du Yangsong, Li Xuejun. 1997. Enclaves in the typical mining districts of Tongling, Anhui Province and their implication to the process of magmatism-metallogeny. Geological Journal. of China University, 3(2): 171~182 (in Chinese with English abstract).
- Du yangsong, Qin Xinlong, Li Xuanju. 2004a. Mesozoic mantle-derived magma underplating in Tongling, Anhui Province: evidence from megacrysts and xenoliths. Acta Petrologica et Mineralogica, 23(2): 109~116 (in Chinese with English abstract).
- Du Yangsong, Lee Hyunkoo. 2004b. Discovery of Gabbroic Xenoliths from Early Cretaceous Intrusions in Tongling, Anhui Province, China and Its Geological Significance. Geological Journal of China Universities, 10(3): 332~342 (in Chinese with English abstract).
- Di Yongjun, Zhao Hailing, Wu Ganguo, Zhang Da, Zhang Wenshan, Liu Qinghua. 2005. Genesis of the intrusive rocks from the three-end-member magma. Geological Review, 51(5): 528~538 (in Chinese with English abstract).
- Huang Shunsheng, Xu Zhaowen, Gu Lianxing, Hua Ming, Lu Xiancai, Lu Jianjun, Nie Guiping, Zhu Shipeng. 2004. A discussion on geochemical characteristics and genesis of intrusions in Shizishan ore-field, Tongling area, Anhui province. Geological Journal of China Universities, 10(2): 217~226 (in Chinese with English abstract).
- Tang Yongcheng, Wu Yanchang, Chu Guozheng, Xing Fengming, Wang Yongmin, Cao Fenyang, Chang Yinuo. 1998. Geology of copper-gold polymetallic deposits in the along-Changjiang area of Anhui Province. Beijing: Geological Publishing House. 1~351 (in Chinese with English abstract).
- Tu Guangchi. 1982. Geochemistry. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press (in Chinese).
- Wang Qiang, Xu Jifeng, Zhao Zhenhua, Xiong Xiaolin, Bao Zhiwei. 2003. Petrogenesis of the Mesozoic intrusive rocks in the Tongling area, Anhui Province, China and their constraint on geodynamic process. Science in China(serieris D), 33(4): 323~334 (in Chinese with English abstract).
- Wang Yanbin, Liu Dunyi, Zeng Pusheng, Yang Zhusen, Tian Shihong. 2004. SHRIMP U-Pb Geochronology of Pyroxene Diorite in the Chaoshan Gold Deposit and Its Geological Significance. Acta Geoscientia Sinica, 25(4): 423~427 (in Chinese with English abstract).
- Williams I S, Claesson S. 1987. Isotopic evidence for the Precambrian provenance and Caledonian metamorphism of high grade paragneisses from the Seve Nappe, Scandinavian Caledonides: Ionmicroprobe zircon U-Th-Pb. Contributions to Mineralogy and Petrology, 97: 205~217.
- Williams I S. 1998. U-Th-Pb geochronology by ion microprobe. McKibben M A, Shanks III W C and Ridley W I. Applications of microanalytical techniques to understanding mineraling processes. Reviews in Economic Geology, 7: 1~35.
- Wu Cailai, Zhou Xunruo, Huang Xuchen, Zhang Chenghuo. 1994. Crystallization characteristics and genesis of the zircon group in intermediate-acid intrusive rocks of Tongling area. Acta Petrologica et Mineralogica, 13(3): 239~247 (in Chinese with English abstract).

- Wu Cailai, Zhou Xunruo, Huang Xuchen, Zhang Chenghuo, Huang Wenming. 1996. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ chronology of intrusive rocks from Tongling. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 15(4): 299~306 (in Chinese with English abstract).
- Wu C L, Wang Z H, Qiao D W et al. 2000. Type of enclaves and their features and origins in intermediate-acid intrusive rocks from the Tongling district, Anhui province, China. *Acta Geologica Sinica*, 74(1): 55~67.
- Wu Cailai, Chen Songyong, Shi Rendeng, Hao Meiyong. 2003. Origin and features of the Mesozoic intermediate-acid intrusive in the Tongling area, Anhui, China. *Acta Geoscientia Sinica*, 24(1): 41~48 (in Chinese with English abstract).
- Wu Yanchang. 1992. On magnetic skarn: A new type of skarn. *Geology of Anhui*, 1(2): 12~26.
- Wu Yanchang, Chang Yinfo. 1998. On the magmatic skarn. *Earth Science Frontiers*, 5(4): 291~301.
- Xing Fengming, Xu Xiang. 1995a. Cumulus- quenched inclusions in the Jiguanshan pluton of Tongling, Anhui Province. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 14(1): 19~25. (in Chinese with English abstract)
- Xing Fengming, Xu Xiang. 1995b. The essential features of magmatic rocks along the Yangtze River in Anhui province. *Acta Petrologica Sinica*, 11(4): 409~422 (in Chinese with English abstract).
- Xing Fengming, Xu Xiang. 1996. High-potassium calc-alkaline intrusive rocks in Tongling area, Anhui Province. *Geochimica*, 25(1): 29~38(in Chinese with English abstract).
- Xing Fengming. 1998. Geochemistry of basic rocks from the eastern part of the Yangtze magmatic rock belt. *Geochimica*, 27(3): 258~268 (in Chinese with English abstract).
- Xu Xiaochun, Lu Sanming, Xie Qiaoqin, Chu Guozheng, Xiong Yaping. 2006. Rare earth element geochemistry on magmatic rocks and gold deposits in Shizishan ore-field of Tongling, China. *Journal of Rare Earths*, 24(5): 617~625
- Zhou Taixi, Li Xueming, Zhao Junshen, Zhang Futao. 1987. Geochronology of igneous rocks from the Tongguanshan ore area of Anhui province. *Journal of China University of Science and Technology*, 17(3): 403~407 (in Chinese with English abstract).
- Zhou Xunruo, Wu Cailai, Huang Xuchen, Zhang Chenghuo. 1993. Characteristics of cognate inclusions in intermediate-acid intrusive rocks of Tongling area and their magmatic dynamics. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 12(1): 20~31 (in Chinese with English abstract).

SHRIMP Zircon U-Pb Dating for the Magmatic Rocks in Shizishan Ore-field of Tongling, Anhui Province, and Its Geological Implications

XU Xiaochun¹⁾, LU Sanming^{1, 2)}, XIE Qiaoqin¹⁾, BAI Lin³⁾, CHU Guozheng³⁾

1) *Hefei University of Technology, Hefei, 230009*; 2) *Center of Geological Investigation and Environment Monitoring of Anhui Province, Hefei, 230001*; 3) *Bureau of Geology and Mineral Resources Exploration of Anhui Province, Hefei, 230001*

Abstract

A great volume of magmatic rock bodies occurring as dykes or apophyses are developed in the Shizishan orefield of Tongling, Anhui province, and it is believed that they are closely related to the Cu, Au and polymetallic mineralization. The rocks around this ore field are mainly granodiorite, quartz monzodiorite and pyroxene monzodiorite. The highly precise SHRIMP U-Pb dating of zircons from these rocks shows that the ages of the magma emplacement are between 133.3Ma and 142.9Ma in late Jurassic and early Cretaceous period (equivalent to the late stage of Early Yanshanian) The magmatic bodies in the ore field were formed by multiple emplacements of contemporaneous magmas; the time of magma emplacement can be divided into two stages; one started at about 140Ma and the other about 136Ma. The interval time from the beginning of ascending and emplacement of magma until its cooling/crystallization is short. However, the Baimangshan pyroxene monzodiorite has longer cooling history and experienced more complicated processes such as early-stage fractionation crystallization in deep magma chamber, structural plusation, ascending and emplacement of magma, decompression and heating, melting of early crystals and cooling crystallization. Geochemical analysis suggested that, during the late stage of magma in the ore field, parent magma originating from the upper mantle or lower crust assimilated crustal material and assembled at the magma chamber, and then the new magma in the chamber fractionated and crystallized to some extent but did not solidified. Therefore, the composition of magma shows a feature of strip distribution. The magma in the chamber triggered stochastically by regional structural stress or tectonic events went up along structural fractures, and emplaced and then cooled crystallized.

Key words: SHRIMP U-Pb dating of zircon; magmatic rock; magma evolution; Shizishan ore-field; Tongling of Anhui province