

文章编号: 1000-6524(2004)04-0298-07

# 铜陵地区小铜官山石英闪长岩锆石 SHRIMP 的 U<sub>Pb</sub> 年龄及其成因指示

王彦斌<sup>1</sup>, 刘敦一<sup>1</sup>, 曾普胜<sup>2</sup>, 杨竹森<sup>2</sup>, 蒙义峰<sup>2</sup>, 田世洪<sup>2</sup>

(1. 中国地质科学院 地质研究所 北京离子探针中心, 北京 100037; 2. 中国地质科学院 矿产资源研究所, 北京 100037)

**摘要:** 铜陵是我国著名的铜(金)、铁成矿带,其金属矿产与区内燕山期侵入岩有着密切的时空、成因联系。本文应用 SHRIMP 方法对小铜官山石英闪长岩中的锆石进行了 U<sub>Pb</sub> 年龄测定,表明铜官山石英闪长岩形成于 139 Ma,这一年龄记录了与铜矿成矿作用有关的岩浆活动的时代。另外铜官山石英闪长岩中含有的残留锆石给出了太古宙-古元古代(2 670~ 2 025 Ma)的年龄信息,表明基底岩石参与了铜官山石英闪长岩的形成,这与由 Sr<sub>Nd</sub> 同位素示踪得出的结果一致,暗示区内石英闪长岩浆受到了古老地壳物质的混染,或前寒武纪岩石是其熔融源区的重要组成部分。

**关键词:** 锆石 U<sub>Pb</sub> SHRIMP 年龄; 石英闪长岩; 成因; 铜官山; 铜陵

中图分类号: P588.12<sup>+</sup> 2; P597

文献标识码: A

## SHRIMP U<sub>Pb</sub> geochronology of Xiaotongguanshan quartz dioritic intrusions in Tongling district and its petrogenetic implications

WANG Yan\_bin<sup>1</sup>, LIU Dun\_yi<sup>1</sup>, ZENG Pu\_sheng<sup>2</sup>, YANG Zhu\_sen<sup>2</sup>, MENG Yi\_feng<sup>2</sup> and TIAN Shi\_hong<sup>2</sup>

(1. Beijing SHRIMP Lab, Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China;

2. Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China)

**Abstract:** The quartz dioritic intrusions in Tongguanshan of Tongling district, Anhui Province, are spatially and temporally associated with copper mineralization. Sensitive High Resolution Ion Microprobe (SHRIMP) U<sub>Pb</sub> zircon dating of quartz diorites from Xiaotongguanshan in the Tongling ore district indicates felsic intrusive activity at 139~ 133 Ma, which also represents the copper mineralization epoch. Some of the zircon grains yield <sup>207</sup>Pb/<sup>206</sup>Pb ages of (2 670~ 2 025) Ma, implying the involvement of the Precambrian metamorphic basement in the formation of quartz diorites. The presence of such zircon grains in these quartz diorites suggests that either the parental magmas were assimilated by basement rocks during the ascent of magma or the lower/middle crustal rocks served as one of the important components during the melting process.

**Key words:** SHRIMP U<sub>Pb</sub> geochronology; quartz diorite; genesis; Tongguanshan; Tongling

铜陵地区是我国重要的有色金属成矿区,其金属矿产与区内燕山期侵入岩有着密切的时空、成因联系。前人对铜陵地区燕山期侵入岩的研究较多(周泰禧等, 1987; 周珣若等, 1993; 陈江峰等, 1993,

1994; 邢凤鸣等, 1993, 1995, 1996a, 1996b; 吴才来等, 1996; 王强等, 2003; 杜杨松等, 2004)。铜官山铜矿床就是其中一例。铜官山矿床的富矿体主要产在岩体接触带及其附近(图1), 岩体的角闪石和黑云母

收稿日期: 2003-07-16; 修订日期: 2004-07-25

基金项目: 国土资源部国际合作与科技司重点项目(20010209)

作者简介: 王彦斌(1966-), 研究员, 同位素年代学及地球化学专业, E-Mail: yanbinw@cags.net.cn。

的<sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar 坪年龄均为 137 Ma(Chen Jiangfeng *et al.*, 1985), 常规锆石总量 U\_Pb 分析获得的锆石 <sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U 年龄为 153 Ma, <sup>207</sup>Pb/<sup>235</sup>U 年龄为 170 Ma, <sup>207</sup>Pb/<sup>206</sup>Pb 年龄为 411 Ma, <sup>208</sup>Pb/<sup>232</sup>Th 年龄为 149 Ma, 4 组年龄值不一致。取下交点年龄为 137 Ma(<sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar 年龄), 得上交点年龄 1 700 Ma, 因此周泰禧等(1987)认为 1 700 Ma 可能代表基底岩石的年龄, 但由于锆石未进行分粒级测定, 只做了总量, 很可能其中含残留锆石, 因此, 其年龄值只具参考价值(周泰禧等, 1987)。由于该区变质基底岩石没有直接出露, 所以古老地壳物质在这些侵入岩的形成过程中起何作用尚存在不同的看法。陈江峰等(1993)、Chen Jiangfeng 等(1998, 2001)依据地球化学和同位素地球化学特征认为该区广泛出露的燕山期中酸性侵入岩是由幔壳岩浆混合或幔源岩浆经过 AFC 过程形成的, 但古老的地壳物质占主导地位; 而邢凤鸣等(1995, 1996)认为这些侵入岩是幔源高钾碱性玄武岩浆同化下地壳麻粒岩相酸性岩石, 同时发生镁铁矿物的结晶分离后侵入地壳浅部固结而成, AFC 过程模拟计算显示岩石中幔源物质占 70%; 但也有研究者认为长江中下游一带的 Au、Fe、Cu 矿床的围岩火成岩为 C 型埃达克岩(张旗等, 2001), 是由古老的扬子地块下地壳熔融形成的; 王

强等(2003)则认为这些中酸性侵入岩可能由幔源岩浆与玄武质下地壳熔融形成的埃达克质(adakite-like)岩浆混合形成。导致产生上述分歧的主要原因是缺乏直接证据证明这些中酸性侵入岩形成过程中深部地壳物质(基底)是否起了重要作用。因此, 利用 SHRIMP 方法对铜官山石英闪长岩中锆石进行 U\_Pb 分析定年, 厘定石英闪长岩岩体的形成年龄, 寻找石英闪长岩中是否含有较老的残留锆石, 进而研究古老基底岩石与石英闪长岩形成的关系将有助于加深对该区深部作用过程及动力学背景的理解, 同时也能有效约束铜矿床成矿作用发生的时代。

### 1 地质背景和样品特征

铜官山岩体位于铜陵市以南, 出露面积 1.5 km<sup>2</sup>, 岩体侵位于泥盆-三叠系。铜官山石英闪长岩中可见到暗色闪长岩包体, 它们与寄主岩界线截然, 主要由角闪石、斜长石和黑云母组成。本次研究的样品采自小铜官山岩体(图 1), 野外可见深灰色石英闪长岩(样号 508\_1)被后期石英闪长岩脉(样号 508\_2)穿切。二者均为半自形粒状结构, 只是暗色矿物含量稍有变化, 后者颜色稍浅。二者都由斜长石(An<sub>32~47</sub>)(69%~70%)、角闪石(8%~9%)、普

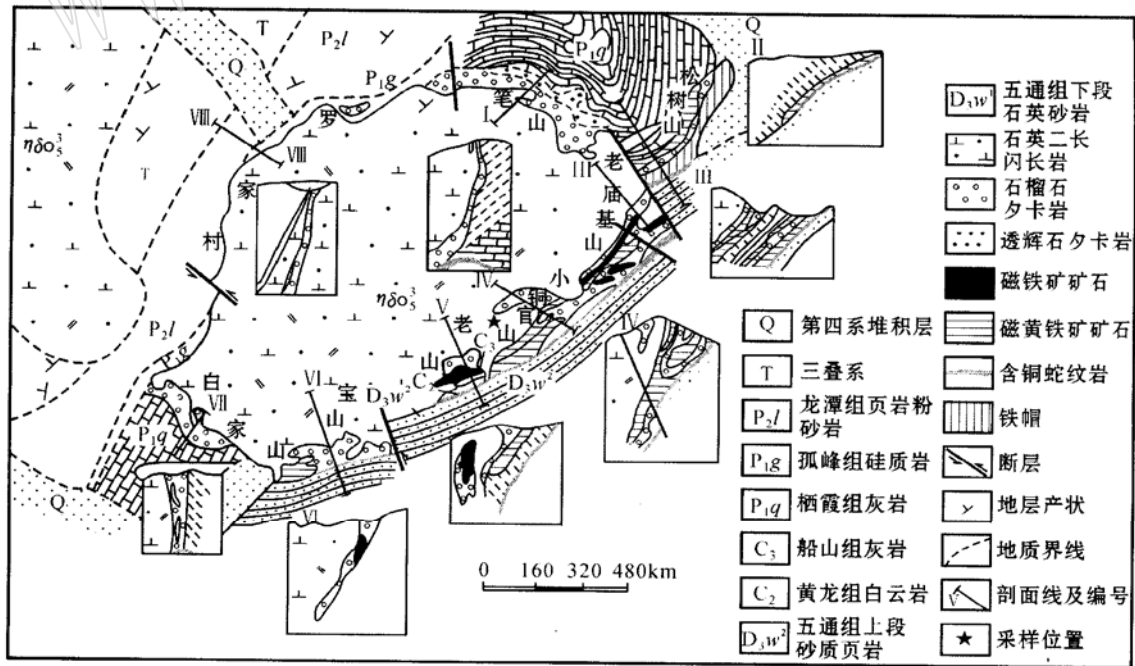


图 1 铜官山矿区地质及勘探剖面简图(据常印佛等, 1991)

Fig. 1 Simplified geological map and exploration sections of the Tongguanshan mining area (after Chang Yinpu *et al.*, 1991)

通辉石(2%~3%)、黑云母(约1%)、钾长石(5%)和石英(约13%)组成,所含副矿物为磁铁矿、磷灰石、锆石和榍石。化学成分分析结果显示二者成分( $w_B/\%$ )基本一致:  $\text{SiO}_2$  62.38~62.90,  $\text{TiO}_2$  0.55~0.57,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  16.80~17.58,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  0.75~1.92,  $\text{FeO}$  1.64~2.39,  $\text{MnO}$  0.07~0.09,  $\text{MgO}$  1.27~1.42,  $\text{CaO}$  5.41~6.10,  $\text{Na}_2\text{O}$  4.71~5.34,  $\text{K}_2\text{O}$  1.86~2.59,  $\text{P}_2\text{O}_5$  0.25~0.27,  $\text{H}_2\text{O}$  0.46~0.62,  $\text{CO}_2$  0.39~0.93。铜官山石英闪长岩高  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、富钠( $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O} > 1.0$ ), Sr 同位素初始比值( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ )<sub>i</sub>

$= 0.70723 \sim 0.70756$ ,  $\epsilon\text{Nd}(t) = -11.9$ ,  $T_{\text{DM}} = 1.69 \sim 1.71 \text{ Ga}$  (陈江峰等, 1993)。深灰色石英闪长岩(样号 508\_1)和后期石英闪长岩脉(样号 508\_2)两个样品的锆石特征相同,主要有两种类型:一种大小约  $150 \mu\text{m} \times 50 \mu\text{m}$ , 浅黄色透明,主要为长柱状,四方双锥发育,晶面平直,含针状磷灰石包裹体,阴极发光照片可见振荡环带,具岩浆结晶锆石的特点;另一种粒径约  $100 \mu\text{m}$  (如锆石 11.1), 表面有麻坑,局部有圆化现象,阴极发光照片可见振荡环带,但含有内核,可能为残留锆石(见图2)。

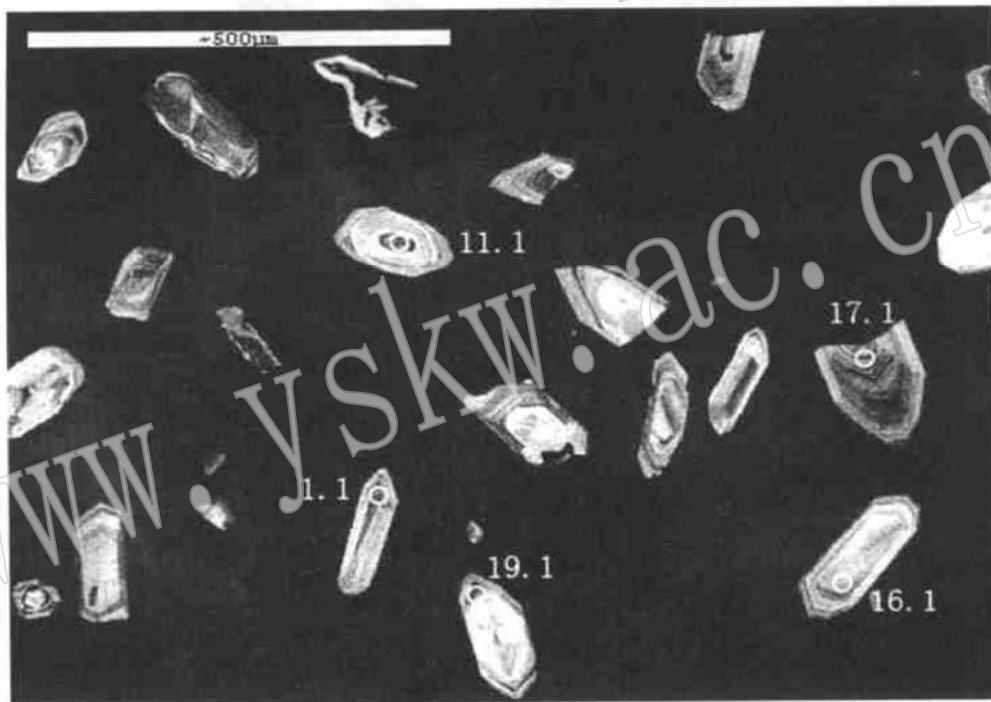


图2 部分锆石样品的阴极发光形态特征、分析点位置示意图

Fig.2 Cathodoluminescence images of zircon crystals in quartz diorite

## 2 SHRIMP U-Pb 同位素年代学实验方法

将待测锆石与数粒锆石标样 TEM 置于环氧树脂中做成样品靶(Mount)。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  $\text{O}_2^+$  打击锆石颗

粒,激发出锆、铅、铀、钍的氧化物离子或金属离子。测定  $\text{Zr}_2\text{O}$ 、 $^{204}\text{Pb}$ 、 $^{206}\text{Pb}$ 、 $^{207}\text{Pb}$ 、 $^{208}\text{Pb}$ 、 $^{238}\text{U}$ 、 $^{232}\text{ThO}$ 、 $^{238}\text{UO}$  质量峰的强度,每个峰的积分时间分别为 2.0、10.0、10.0、10.0、15.0、5.0、5.0、2.0、2.0 s,每个点的数据是 5 次扫描的平均值。一次离子为约 4.5 nA、10 kV 的  $\text{O}_2^+$ ,打到锆石上束斑的直径为 25~30  $\mu\text{m}$ ,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(572 Ma)标定样品的 U-Th-Pb 含量,TEM(417 Ma)进行年龄校正。数据处理采用 Ludwig 的 SQUID 1.02 及 ISOPLOT

程序。普通铅根据实测的<sup>204</sup>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。

### 3 实验结果

铜官山两个样品锆石的 U<sub>Pb</sub> 同位素测定结果见表 1, 其谐和图见图 3。

样品 508\_1 中长柱状具岩浆结晶特点的锆石, 12 个分析点在一致曲线中成群分布, <sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U 加

权平均值年龄为 139 ± 3 Ma (图 3), 解释为主体石英闪长岩的侵位年龄; 样品 508\_2 中同类锆石的 8 个分析点在一致曲线中成群分布, <sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U 加权平均值年龄为 133 ± 3 Ma, 解释为后期脉岩的侵位年龄。

样品 508\_1 中还存在古元古代至太古宙年龄的锆石 (表 1), 这些锆石颗粒边缘有圆化现象, 表面有麻坑, 阴极发光照片可见振荡环带, 含有内核, 为残留锆石 (图 2)。9.1 号锆石颗粒给出 2 376 ± 9 Ma 的 <sup>207</sup>Pb/<sup>206</sup>Pb 年龄, 21.1、12.1 和 4.1 锆石颗粒分别

表 1 铜官山石英闪长岩中锆石 SHRIMP U<sub>Pb</sub> 分析结果  
Table 1 SHRIMP data of zircons from Tongguanshan quartz diorite

点号	<sup>206</sup> Pb <sub>c</sub> / %	U Th		<sup>232</sup> Th <sup>238</sup> U	<sup>206</sup> Pb* / 10 <sup>-6</sup>	年龄 / Ma		同位素比值					
		U w <sub>B</sub> / 10 <sup>-6</sup>	Th			<sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U	<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb	<sup>207</sup> Pb* / <sup>206</sup> Pb*	±%	<sup>207</sup> Pb* / <sup>235</sup> U	±%	<sup>206</sup> Pb* / <sup>238</sup> U	±%
508_1													
1.1	0.94	124	73	0.61	2.41	143 ± 3		0.043 1	14.0	0.133	14.0	0.022 4	2.3
2.1	2.87	89	55	0.64	1.57	127 ± 3		0.031 0	41.0	0.086	41.0	0.019 9	2.7
3.1	0.44	110	99	0.93	2.07	140 ± 3		0.048 8	12.0	0.147	12.0	0.021 8	2.3
4.1	0.02	211	93	0.46	69.40	2 093 ± 37	2 065 ± 7	0.127 6	0.4	6.750	2.1	0.383 7	2.1
5.1	-	369	162	0.45	7.17	144 ± 3		0.050 3	1.8	0.157	2.7	0.022 6	2.1
6.1	0.18	192	454	2.45	19.50	722 ± 14	765 ± 34	0.064 7	1.6	1.058	2.7	0.118 6	2.1
7.1	1.16	203	63	0.32	3.67	133 ± 5		0.042 3	14.0	0.121	14.0	0.020 8	3.8
8.1	-	180	83	0.48	3.51	145 ± 3		0.053 9	4.0	0.169	4.6	0.022 7	2.1
9.1	0.04	86	42	0.51	35.40	2 517 ± 59	2 376 ± 9	0.152 7	0.5	10.000	2.9	0.478 0	2.8
10.1	0.29	342	83	0.25	6.07	131 ± 3		0.049 2	3.6	0.140	4.2	0.020 6	2.1
11.1	0.03	130	51	0.40	46.80	2 257 ± 39	2 670 ± 15	0.181 9	0.9	10.510	2.2	0.419 3	2.0
12.1	0.08	137	57	0.43	41.80	1 961 ± 35	2 025 ± 9	0.124 8	0.5	6.120	2.1	0.355 5	2.1
13.1	0.52	339	126	0.38	6.60	144 ± 3		0.047 9	4.5	0.149	5.0	0.022 5	2.2
14.1	-	151	111	0.76	13.60	643 ± 13	848 ± 40	0.067 3	1.9	0.974	2.8	0.104 9	2.1
15.1	0.35	262	123	0.49	4.86	137 ± 3		0.049 0	3.6	0.146	4.2	0.021 5	2.2
16.1	1.08	236	234	1.02	4.54	141 ± 3		0.053 0	5.3	0.162	5.7	0.022 1	2.1
17.1	0.06	234	20	0.09	93.20	2 458 ± 22	2 494 ± 10	0.164 2	0.6	10.510	1.2	0.464 1	1.1
18.1	2.49	249	137	0.57	4.58	134 ± 3		0.046 1	19.0	0.133	19.0	0.020 9	1.9
19.1	2.31	235	289	1.27	4.64	143 ± 3		0.053 3	13.0	0.165	13.0	0.022 4	1.8
20.1	2.04	251	219	0.90	4.64	135 ± 3		0.040 2	18.0	0.117	18.0	0.021 1	2.0
21.1	0.04	581	86	0.15	156.00	1 751 ± 15	2 091 ± 11	0.129 5	0.6	5.572	1.2	0.312 2	1.0
508_2													
1.1	0.06	267	280	1.08	5.18	144 ± 3		0.049 6	5.0	0.154	5.5	0.022 6	2.2
2.1	-	187	222	1.22	3.53	140 ± 3		0.051 3	3.1	0.155	3.8	0.021 9	2.2
3.1	0.03	139	91	0.67	53.20	2 372 ± 45	2 402 ± 8	0.155 0	0.5	9.500	2.3	0.445 0	2.3
4.1	0.83	152	93	0.64	2.72	132 ± 3		0.041 9	12.0	0.120	12.0	0.020 7	2.3
5.1	-	292	343	1.22	5.25	134 ± 3		0.049 6	2.3	0.144	3.2	0.021 0	2.1
6.1	0.12	270	223	0.85	4.71	130 ± 3		0.050 0	3.7	0.140	4.3	0.020 3	2.2
7.1	-	312	188	0.62	5.77	138 ± 3		0.050 4	3.2	0.150	3.8	0.021 6	2.1
8.1	0.86	250	88	0.37	4.74	140 ± 3		0.040 4	7.4	0.122	7.8	0.021 9	2.2
9.1	-	100	179	1.85	11.40	803 ± 16	848 ± 30	0.067 3	1.4	1.231	2.5	0.132 6	2.1
10.1	-	206	142	0.71	3.59	131 ± 3		0.055 5	7.9	0.156	8.2	0.020 4	2.2
11.1	-	74	93	1.30	27.60	2 319 ± 41	2 598 ± 13	0.174 2	0.8	10.400	2.2	0.432 9	2.1
12.1	0.21	160	131	0.85	2.89	134 ± 4		0.048 7	5.2	0.141	5.8	0.021 0	2.6
13.1	0.29	149	75	0.52	2.60	129 ± 3		0.051 5	5.4	0.144	5.9	0.020 3	2.3

注: 误差为 1σ; Pb<sub>c</sub> 和 Pb\* 分别表示普通铅和放射成因铅; 标准校正值的误差为 1.03%; 普通铅校正应用<sup>204</sup>Pb 实测值。

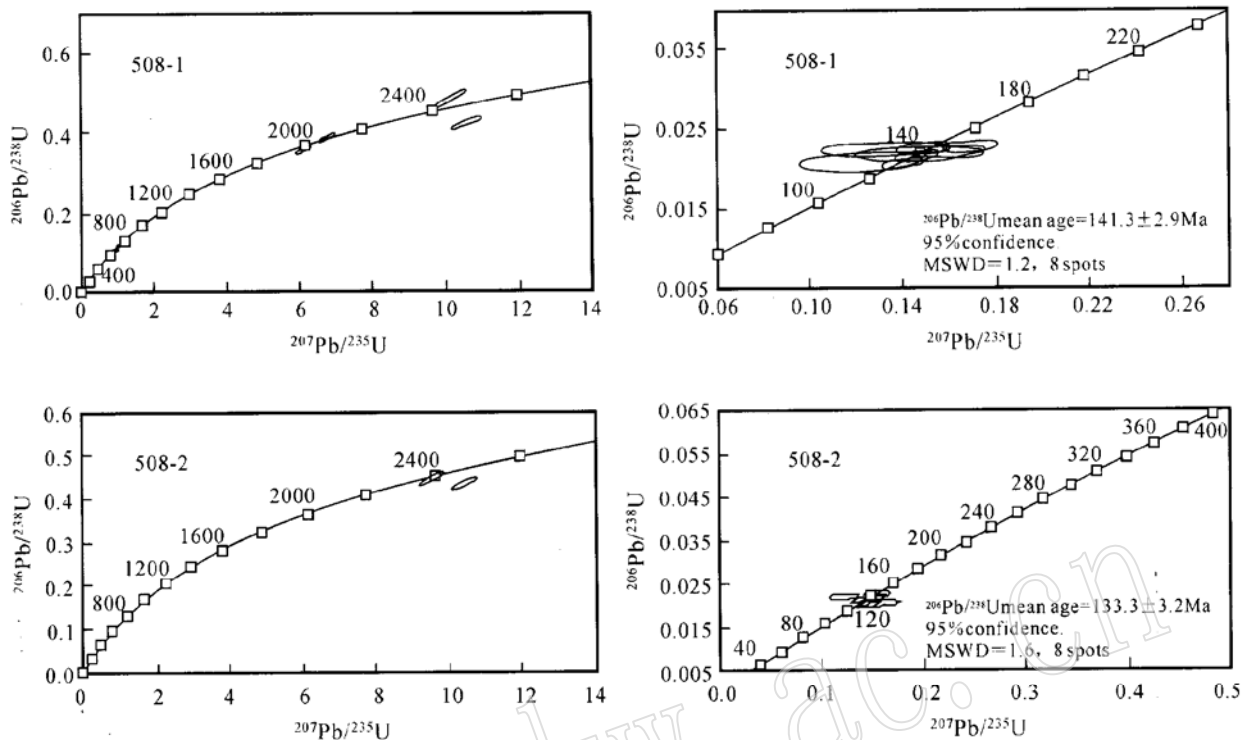


图 3 铜官山石英闪长岩锆石 U-Pb 一致曲线图

Fig. 3 U-Pb concordia diagrams showing SHRIMP data of quartz diorite

给出  $2\,091 \pm 11$  Ma,  $2\,025 \pm 9$  Ma 和  $2\,065 \pm 7$  Ma 的  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  年龄。6.1 锆石颗粒给出  $722 \pm 14$  Ma 的  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  年龄。11.1 锆石颗粒给出其  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  年龄为  $2\,670 \pm 15$  Ma, 代表了经过放射成因 Pb 丢失的太古宙残留锆石。17.1 锆石颗粒给出其  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  年龄为  $2\,494 \pm 10$  Ma。样品 508\_2 中 3.1 锆石颗粒给出  $2\,402 \pm 8$  Ma 的  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  年龄, 11.1 锆石颗粒有 Pb 丢失, 其  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  年龄为  $2\,598 \pm 13$  Ma, 9.1 锆石颗粒给出其  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  年龄为  $803 \pm 16$  Ma。由于本区出露地层为志留纪至三叠纪海相的碎屑岩、碳酸岩, 故以上年龄较老的锆石不可能是早白垩世岩浆在上升侵位过程中捕获的继承性锆石, 而最有可能的是老的变质基底部分熔融形成岩浆时残留的老锆石。

## 4 讨论

### 4.1 岩体形成时代的确定

铜官山岩体的石英闪长岩样品给出了  $139 \pm 3$  Ma 的  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  加权平均年龄, 该年龄代表锆石的结晶年龄, 对应铜官山岩体的形成年龄。脉岩样品

给出的  $133 \pm 3$  Ma 则指示了该区岩浆活动结束的时间。铜官山岩体的角闪石和黑云母的  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  坪年龄都为 137 Ma (Chen Jiangfeng *et al.*, 1985)。实验测定锆石的封闭温度一般大于  $750^\circ\text{C}$ , 角闪石  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  系统在  $530 \pm 50^\circ\text{C}$ , 黑云母  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  系统在  $300 \pm 50^\circ\text{C}$ , 以上年龄数据说明岩浆侵位后冷却结晶过程相当快, 为快速抬升的地质作用。

### 4.2 成矿时代的制约

铜官山石英闪长岩体与铜成矿作用关系密切。由于燕山期本区构造-岩浆活化, 使得岩浆侵入, 原始沉积岩受到热接触变质形成大理岩和角岩, 而沉积黄铁矿遭受变质形成磁黄铁矿甚至磁铁矿。后期的热液活动造成镁质夕卡岩和钙夕卡岩, 最后是铜矿化的交代充填作用和有关蚀变。可见接触热变质和接触交代以及围岩蚀变在时间和空间上都与石英闪长岩的侵入作用有关, 而且富矿体主要产在岩体接触带及其附近。铜官山石英闪长岩岩体形成于 139 Ma 的年龄就限定了铜官山铜矿成矿作用的年龄上限。联系笔者获得的本区朝山金矿辉石闪长岩中锆石的  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  年龄  $143 \pm 1$  Ma, 新桥铜金矿矿头石英闪长岩岩株锆石的  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  年龄  $140 \pm 2$

Ma, 金口岭铜金矿辉钼矿 Re<sub>2</sub>O<sub>7</sub> 同位素模式年龄为 137.0 ± 0.2 Ma, 可以认为铜陵地区成矿的重要时期在 137~143 Ma。

### 4.3 成因指示及构造意义

锆石 U<sub>235</sub>/Pb 测定部分锆石获得了远大于 139 Ma 的 <sup>207</sup>Pb/<sup>206</sup>Pb 年龄, 铜官山石英闪长岩残留锆石给出了古元古代至太古宙的年龄(2 670~2 025 Ma), 这些年龄数据与区内安庆怀宁县洪镇地区董岭北董岭群斜长角闪岩的 Sm<sub>2</sub>Nd 等时线年龄 1 895 ± 72 Ma(邢凤鸣等, 1993) 及皖东南二长片麻岩和黑云斜长片麻岩单颗粒锆石 U<sub>235</sub>/Pb 法原岩年龄 2 493 ± 19 Ma(涂荫玖等, 2001) 近似, 暗示铜官山石英闪长岩的形成与前寒武纪基底岩石关系密切。近来 Qiu 等(2000) 和高山等(2001) 在扬子地块的崧岭高级变质地体获得了 2.9 Ga 的奥长花岗岩的侵位年龄, 在变质沉积岩中发现了 3.3 Ga 的碎屑锆石, 指出扬子地块存在太古宙陆壳基底。陈江峰等(1993)、Chen Jiangfeng 等(1998, 2001) 对铜陵地区进行的同位素地球化学示踪也可以佐证这一点。铜官山石英闪长岩的 (<sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr)<sub>i</sub> 为 0.707 23~0.707 56, εNd(t) 为 -11.9(陈江峰等, 1993), 表明岩浆是幔壳岩浆混合或幔源岩浆经过 AFC 过程形成, 但同位素组成的制约指示岩体的物源必须有古老的基底地壳物质参与(可能是崧岭群及其相当岩系)。地球物理资料也指出本区下地壳为深变质片麻岩(李秀新等, 1992)。综合以上资料, 笔者认为铜陵地区铜官山石英闪长岩岩体含有较老的锆石颗粒(或)残留, 表明基底岩石参与了这些石英闪长岩的形成, 石英闪长岩中确实包含有太古宙-古元古代古老地壳的再循环物质, 也说明该区地壳深部可能存在或曾经存在太古宙-古元古代基底。当然, 这些太古宙-古元古代基底的物源与成矿的关系还值得进一步研究。

**致谢** 野外工作期间, 得到侯增谦研究员的指导和帮助, 张宗清研究员、审稿人对本文做了认真的审阅并提出了很好的修改意见, 在此一并表示感谢。

### References

- Chang Yinfu, Liu Xiangpei and Wu Yanchang. 1991. The copper-iron Belt of the Lower and Middle Reaches of the Changjiang River[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1~379 (in Chinese with English abstract).
- Chen Jiangfeng, Zhou Taixi, Li Xueming, *et al.* 1993. Sr and Nd isotopic constraints on source regions of the intermediate and acid intrusions from southern Anhui Province[J]. *Geochimica*, 3: 263~268 (in Chinese with English abstract).
- Chen Jiangfeng, Zhou Taixi, Xing Fengming, *et al.* 1994. Pb, Sr and Nd isotopic characteristics of copper-bearing rocks from Middle-Low area of Yangtze[J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 30~31(1~2): 111~116 (in Chinese with English abstract).
- Chen J F and Jahn B M. 1998. Crustal evolution of Southeastern China: Nd and Sr isotopic evidence[J]. *Tectonophysics*, 284: 101~133.
- Chen J F, Yan J, Xie Z, *et al.* 2001. Nd and Sr isotopic compositions of igneous rocks from the Lower Yangtze region, eastern China: Constraints on sources. [J]. *Physics and Chemistry of the Earth (A)*, 26(9~10): 719~731.
- Chen Jiangfeng, Foland K A and Zhou Taixi. 1985. Mesozoic granitoids of the Yangtze foldbelt, China: Isotopic constraints on the magma sources[A]. Wu Liren. *The Crustal the Significance of Granites, gneisses in the Lithosphere*[C]. Theophrastus Publications, Athens, 217~237.
- Compston W, Williams I S and Meyer C. 1984. U<sub>235</sub>/Pb geochronology of zircons from lunar breccia 73217 using a sensitive high mass-resolution ion microprobe[J]. *Journal of Geophysical Research*, 89 (Supplement): B325~B534.
- Compston W, Williams I S, Kirschvink J L, *et al.* 1992. Zircon U<sub>235</sub>/Pb ages for the Early Cambrian time scale[J]. *Journal of the Geological Society*, 149: 171~184.
- Du Yangsong, Qin Xinlong and Lee Hyunkoo. 2004. Mesozoic mantle-derived magma underplating in Tongling, Anhui Province: evidence from megacrysts and xenoliths[J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 23(2): 109~116 (in Chinese with English abstract).
- Gao Shan, Qiu Yumin, Ling Wenli, *et al.* 2001. SHRIMP single zircon U<sub>235</sub>/Pb dating of the Kongling high grade metamorphic terrain: Evidence for > 3.2 Ga old continental crust in the Yangtze craton [J]. *Science in China (Series D)*, 31: 27~35 (in Chinese).
- Li Xiuxin, Liu Deliang, Wang Huajun, *et al.* 1992. The boundary of the Eastern of North China plate and Yantzes plate[A]. Li Jiliang. *The Study of Lithosphere Structure and Evolution of Southeast of China*[C]. China Science and Technology Publishing House, 32~45 (in Chinese).
- Qiu Y, Gao Shan, McNaughton N J, *et al.* 2000. First evidence of > 3.2 Ga continental crust in the Yangtze craton of south China and its implications for Archean crustal evolution and Phanerozoic tectonics[J]. *Geology*, 28: (1): 11~14.
- Tu Yinjiu, Yang Xiaoyong, Zheng Yongfei, *et al.* U<sub>235</sub>/Pb dating of zircon from gneiss at Nanhuang in East Anhui[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 17(1): 157~160 (in Chinese with English abstract).
- Wang Qiang, Xu Jifeng, Zhao Zhenhua, *et al.* 2003. Petrogenesis of the Mesozoic intrusive rocks in the Tongling area, Anhui Province, China and their constraint to geodynamic process[J]. *Science in China (Series D)*, 33(4): 323~334 (in Chinese).
- Williams I S and Claesson S. 1987. Isotopic evidence for the Precambrian provenance and Caledonian metamorphism of high grade paragneisses from the Seve Nappes, Scandinavian Caledonides: II. Ion mi-

- croprobe zircon U<sub>Th</sub>Pb[J]. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 97: 205~ 217.
- Williams I S. 1998. U<sub>Th</sub>Pb Geochronology by Ion Microprobe[A]. McKibben M A, Shanks III W C and Ridley W I. *Applications of Microanalytical Techniques to Understanding Mineralizing Processes* [C]. *Reviews in Economic Geology*, 7: 1~ 35.
- Wu Cailai, Zhou Xunruo, Huang Xuchen, *et al.* 1996. <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar chronology of intrusive rocks from Tongling[J]. *Acta Petrologica et Mineralogica* 15(4): 299~ 306 (in Chinese with English abstract).
- Xing Fengming and Xu Xiang. 1995. The essential features of magmatic rocks along the Yangtze river in Anhui Province[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 11(4): 409~ 422 (in Chinese with English abstract).
- Xing Fengming and Xu Xiang. 1996a. AFC mixing model and origin of intrusive rocks from Tongling area[J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 15(1): 10~ 20 (in Chinese with English abstract).
- Xing Fengming and Xu Xiang. 1996b. High potassium calc-alkaline intrusive rocks in Tongling area, Anhui Province[J]. *Geochimica*, 25(3): 29~ 38 (in Chinese with English abstract).
- Xing Fengming, Xu Xiang and Li Zhichang. 1993. Discovery of Early Proterozoic basement in Middle to Lower Yangtze region and its significance[J]. *Chinese Sci Bull.*, 38: 1 883~ 1 886 (in Chinese).
- Zhang Qi, Wang Yan, Qian Qing, *et al.* 2001. The characteristics and tectonic-metallogenic significances of the adakites in Yanshan period from eastern China[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 17(2): 236~ 244 (in Chinese with English abstract).
- Zhou Taixi, Li Xueming, Zhao Junshen, *et al.* 1987. Geochronology of igneous rocks from the Tongguanshan ore area of Anhui Province [J]. *Journal of China University of Science and Technology*, 17(3): 403~ 407 (in Chinese with English abstract).
- Zhou Xunruo, Wu Cailai, Huang Xuchen, *et al.* 1993. Characteristics of cognate inclusions in intermediate acid intrusive rocks of Tongling area and their magmatic dynamics[J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 12(1): 20~ 31 (in Chinese with English abstract).
- 地质出版社, 1~ 379.
- 陈江峰, 周泰禧, 李学明, 等. 1993. 安徽南部燕山期中酸性侵入岩的源区锶、钕同位素制约[J]. *地球化学*, 3: 263~ 268.
- 陈江峰, 周泰禧, 邢凤鸣, 等. 1994. 长江中下游岩带含铜岩体的 Pb-Sr-Nd 同位素特征[J]. *地球学报*, 30~ 31(1~ 2): 111~ 116.
- 杜杨松, 秦新龙, 李铨具. 2004. 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[J]. *岩石矿物学杂志*, 23(2): 109~ 116.
- 高山, Qiu Y, 凌文黎, 等. 2001. 崆岭高级变质体单颗粒锆石 SHRIMP U-Pb 年代学研究——扬子克拉通大于 3.2 Ga 陆壳物质的发现[J]. *中国科学 D 辑*, 31(1): 27~ 35.
- 李秀新, 刘德良, 王华俊, 等. 1992. 中国东部华北板块与扬子板块的分界问题[A]. 李继亮. 中国东南海陆岩石圈结构与演化研究 [C]. 中国科学技术出版社, 32~ 45.
- 涂荫玖, 杨晓勇, 郑永飞, 等. 2001. 皖东南片麻岩的 U-Pb 年龄 [J]. *岩石学报*, 17(1): 157~ 160.
- 王强, 许继峰, 赵振华, 等. 2003. 安徽铜陵地区燕山期侵入岩的成因及其对深部动力学过程的制约[J]. *中国科学 D 辑*, 33(4): 323~ 334.
- 吴才来, 周珣若, 黄许陈, 等. 1996. 铜陵地区中酸性侵入岩年龄学研究[J]. *岩石矿物学杂志*, 15(4): 299~ 306.
- 邢凤鸣, 徐祥. 1995. 安徽沿江地区中生代岩浆岩的基本特点[J]. *岩石学报*, 11(4): 409~ 422.
- 邢凤鸣, 徐祥. 1996a. AFC 混合与铜陵地区侵入岩的成因[J]. *岩石矿物学杂志*, 15(1): 10~ 20.
- 邢凤鸣, 徐祥. 1996b. 铜陵地区高钾钙碱性系列侵入岩[J]. *地球化学*, 25(1): 29~ 38.
- 邢凤鸣, 徐祥, 李志昌. 1993. 长江中下游早元古代基底的发现及意义[J]. *科学通报*, 38(20): 1 883~ 1 886.
- 张旗, 王焰, 钱青, 等. 2001. 中国东部燕山期埃达克岩的特征及其构造-成矿意义[J]. *岩石学报*, 17(2): 236~ 244.
- 周泰禧, 李学明, 赵俊深, 等. 1987. 安徽铜陵铜官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.
- 周珣若, 吴才来, 黄许陈, 等. 1993. 铜陵中酸性侵入岩同源包体特征及岩浆动力学[J]. *岩石矿物学杂志*, 12(1): 20~ 31.

## 附中文参考文献

常印佛, 刘湘培, 吴言昌. 1991. 长江中下游铁铜成矿带[M]. 北京: