

铜陵地区晚古生代岩浆活动的发现： 来自凤凰山岩体 ZK66 钻孔岩心辉绿岩 锆石 U - Pb 定年的证据

吴才来¹ 董树文² 王次松³ 高前明³ 闫永涛³
李 翔³ 郜源红¹ 雷 敏¹ 秦海鹏¹ 李名则¹ 刘春花¹

(1. 中国地质科学院地质研究所, 北京 100037; 2. 中国地质科学院, 北京 100037;
3. 安徽省地质矿产局 321 地质队, 安徽 铜陵 244033)

摘要: 凤凰山花岗闪长岩是铜陵地区出露面积最大的岩体, 约 10 km², 属高钾钙碱性系列。位于该岩体西北角的朱家山附近 ZK66 钻孔揭示, 岩体超覆于三叠纪碳酸盐岩地层之上。除在浅部见到花岗闪长岩之外, 深部主要见到晚泥盆世—二叠纪地层。特别是在石炭纪大理岩中见到辉绿岩和花岗斑岩, 其锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄分别为 304 Ma 和 132 Ma, 证明本区存在晚古生代岩浆活动, 而中生代花岗质岩浆活动可能持续到 132 Ma。晚石炭世辉绿岩的发现, 说明该时期海底是一种拉张环境, 海底喷流作用可能与岩浆活动有密切的成因关系, 为该时期形成大型矿床奠定了基础。

关键词: 锆石 U - Pb 定年; 辉绿岩; 花岗斑岩; 钻孔 ZK66; 铜陵朱家山

中图分类号: P588.12⁺; P597 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3657(2013)03-0715-15

铜陵矿集区位于中国东部长江中下游铁铜等金属成矿带的中部(图 1), 以盛产铜矿而著名, 被喻为中国的古铜都。区内矽卡岩型和矽卡岩层控型铜、金等金属矿床与燕山期中酸性侵入岩的关系十分密切^[1], 因此, 多年来许多研究者对区内中酸性侵入岩及其铜、金、钼、铅锌等矿床进行了深入的研究, 并取得了许多研究成果^[1-17]。研究表明, 铜陵地区所有的铜、金矿床除与中生代中酸性侵入岩有密切的关系外, 还受地层岩性的控制。如在狮子矿田, 从上到下容矿层位分别为下三叠统和龙山组 (T_{1h})、下三叠统殷坑组 (T_{1y})、上二叠统大隆组 (P_{2d})、下二叠统栖霞组 (P_{1q})、中上石炭统黄龙组船山组 (C_{2h+3c}), 形成的矿床分别为狮子山铜矿床、大团山铜矿床、老鸦岭铜(钼)矿床、花树坡铜矿、冬瓜山铜矿床, 这些容矿层

位中的矿床以石炭系中的规模最大, 如冬瓜山铜矿、新桥铜金硫矿床等。因此, 许多研究者认为, 这些地层中可能存在同期的火山岩^[18-21], 岩浆活动提供了部分成矿物质^[22-25], 但这一时期的岩浆活动缺少准确的年代学证据。最近, 作者在凤凰山朱家山钻孔 ZK66 岩心中发现了石炭纪辉绿岩, 证明该时期存在岩浆活动。本文将报道详细定年结果, 并讨论其地质意义。

1 地质背景

铜陵地区大地构造位置处于扬子板块东北缘下扬子地块的中部(图 1-a)。区内出露志留纪到三叠纪浅海相碳酸盐岩, 并夹有深海相的硅质岩和海陆交互的碎屑岩地层。印支运动使这些地层发生了

收稿日期: 2013-05-02; 改回日期: 2013-05-21

基金项目: 国家专项(SinoProbe-05-05)、自然科学基金项目(40921001、49772106、40472034 和 40672049) 和中国地质调查局地调项目(1212011120160, 1212010918007, 1212010818090, 1212010611803 和 1212010711816)共同资助。

作者简介: 吴才来, 男, 1960 年生, 博士, 研究员, 博士生导师, 岩石学专业; E-mail: wucailai@126.com。

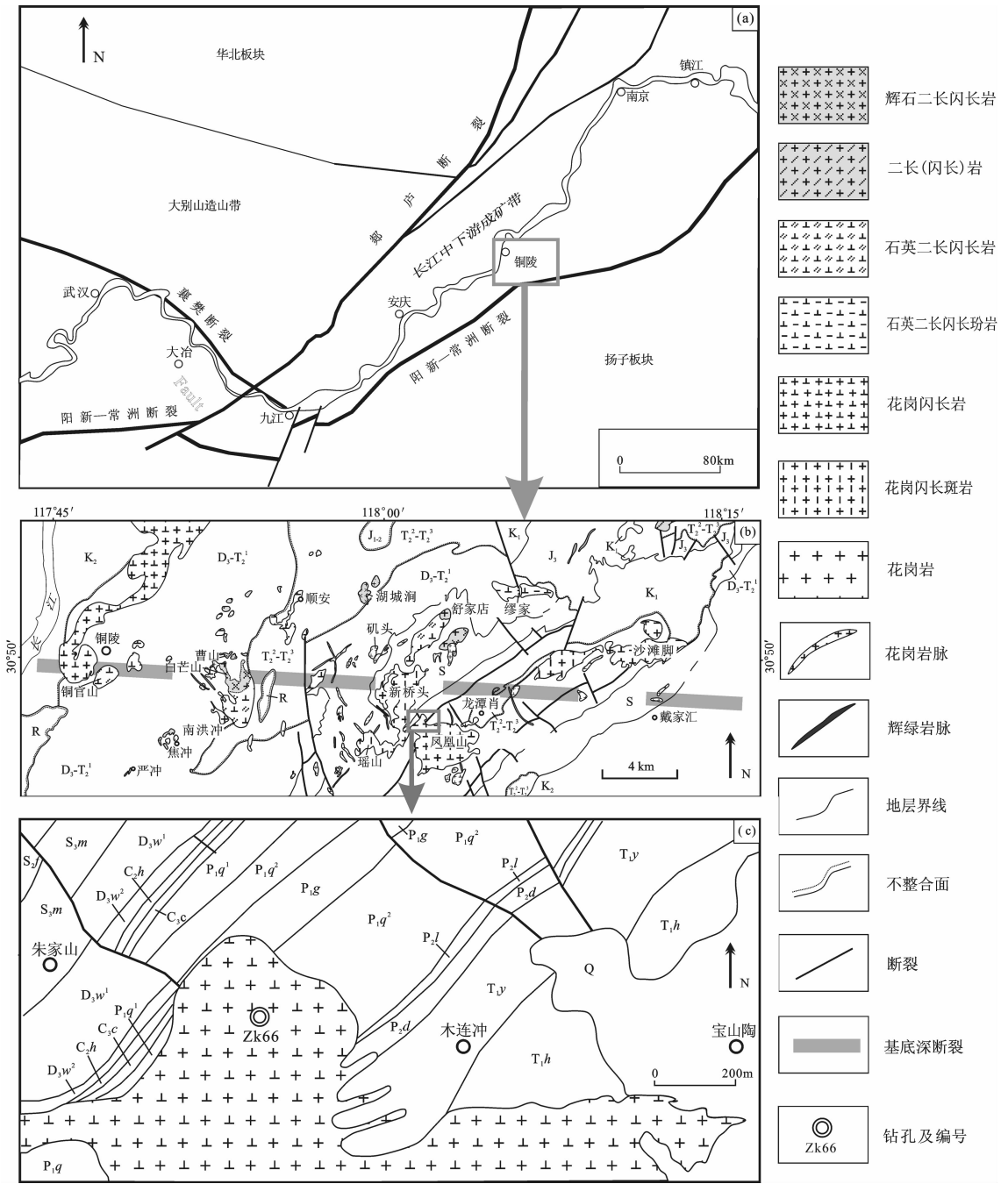


图1 安徽铜陵地区岩体地质及时代分布示意图

Q—第四系;R—古近—新近系;K₂, K₁—上、下白垩统;J₃—上侏罗统;J₁₋₂—中侏罗统;T₂²-T₂³—中三叠统;D₃-T₂¹—上泥盆统—中三叠统;S—志留系;S_{3f}—中志留统坟头组;S_{3m}—上志留统茅山组;D_{3w}¹—上泥盆统五通组下段;D_{3w}²—上泥盆统五通组上段;C_{2h}—中石炭统黄龙组;C_{3c}—上石炭统船山组;P_{1q}¹—下二叠统栖霞组下段;P_{1q}²—下二叠统栖霞组上段;P_{1g}—下二叠统孤峰组;P_{2l}—上二叠统龙潭组;P_{2d}—上二叠统大隆组;T_{1y}—下三叠统殷股组;T_{1h}—下三叠统和龙山组

Fig.1 Geological sketch map of Tongling area, Anhui Province

Q—Quaternary; R - Tertiary; K₂, K₁ - Upper-, Lower-Cretaceous; J₃ - Upper Jurassic; J₁₋₂ - Middle and Lower Jurassic; T₂²-T₂³ - Middle Triassic; D₃-T₂¹ - Upper Devonian-Middle and Lower Triassic; S-Silurian; S_{3f}-Middle Silurian Fentou Formation; S_{3m}-Upper Silurian Maoshan Formation; D_{3w}¹-Lower segment of Upper Devonian Wutong Formation; D_{3w}²-Upper segment of Upper Devonian Wutong Formation; C_{2h}-Middle Carboniferous Huanglong Formation; C_{3c}-Upper Carboniferous Chuanshan Formation; P_{1q}¹-Lower segment of Lower Permian Qixia Formation; P_{1q}²-Upper segment of Lower Permian Qixia Formation; P_{1g}-Lower Permian Gufeng Formation; P_{2l}-Upper Permian Longtan Formation; P_{2d}-Upper Permian Dalong Formation; T_{1y}-Lower Triassic Yinkeng Formation; T_{1h}-Lower Triassic Helongshan Formation

一系列 NE 向的褶皱,从西往东分别为:金口岭向斜、铜官山背斜、青山次级背斜、朱村—大通复向斜、舒家店—永村桥背斜、新屋里向斜、戴公山背斜,这些北东向的褶皱分别被 NE、NNE、NW 和 NNW 向的断层切割。区内近东西向的铜陵—戴家汇基底深大断裂控制了岩浆活动和矿床的形成,组成了区内近 EW 向南北宽约 20 km 的岩浆—构造—成矿带^[26](图 1)。区内出露的 76 个侵入岩体中,凤凰山岩体规模最大,出露面积约 10 km²,其余侵入岩体规模较小,露头面积一般为 0.5~3 km²。岩体主要呈小岩株和岩墙状产出,其次呈岩床和岩脉状产出。研究表明,区内的侵入岩可划分为橄榄安粗岩系列和高钾钙碱性系列^[7-8,13,27]。橄榄安粗岩系列侵入岩的时代为 145~137 Ma,高钾钙碱性系列侵入岩的时代为 147~132 Ma^[28-29],可见高钾钙碱性系列岩浆活动开始的时间较早,持续的时间也较长^[6]。凤凰山岩体侵位于凤凰山向斜中,出露形态为一等轴状的岩株,岩体中发育大量的暗色微粒闪长质包体和富云母包体^[28]。岩体周围产出药园山铜矿、铁山头铜矿、仙人冲铜矿、宝山陶铜矿、金山冲铜矿、杉木岭铜矿、江家冲铜矿、清水塘铜矿等。在凤凰山岩体西北角朱家山附近,铜陵县金山矿业有限公司实施了一口 1155 m 的钻孔(ZK66)。钻孔揭示,该岩体超覆在石炭纪、二叠纪和三叠纪地层之上,在 717.63 m 以上全部为岩体(图 2),在 717.63 m 以下到 814.77 m,见到多层侵入岩和大理岩,表明接触带附近岩体呈小岩枝状穿插到围岩之中。见到 1.31 m 厚的砂卡岩后,以下都是大理岩化的碳酸盐岩地层。其中,含有花岗斑岩脉和辉绿岩脉。笔者在钻孔岩心中采集了花岗斑岩和辉绿岩样品,开展了岩石学及锆石 U-Pb 定年工作,结果分述如下。

3 定年样品特征

钻孔 ZK66 位于凤凰山朱家山附近,地理坐标为:N30°51.865', E118°3.147',海拔高度 132 m。笔者在该钻孔岩心中采集了 3 个定年样品,各样品特征分述如下:

(1) 样品 10CL534

该样品岩性为花岗斑岩,取自钻孔 ZK66 岩心第 432-1/10 回次,对应的孔深为 1123.3 m。岩石灰白色,斑状结构,斑晶为斜长石,少量的角闪石,斑晶占整个岩石的 10%左右,基质为长英质,其中斜长石

蚀变成粘土矿物的集合体,石英不均匀分布在基质中。岩石发育强烈的碳酸盐化,表现在大量的不规则脉状方解石分布在基质中,此外,还见到大量的团块状磁铁矿的分布。副矿物主要为锆石、楣石、磷灰石。钻孔揭示花岗斑岩厚度为 3.53 m,侵入到石炭纪的滑石蛇纹岩中,滑石蛇纹岩呈灰绿色,致密块状,主要矿物为蛇纹石、滑石,局部地方发育黄铁矿化、黄铜矿化。

(2) 样品 10CL535

该样品岩性为辉绿岩,取自钻孔 ZK66 岩心第 380-4/8 回次,对应的孔深为 971 m。岩石灰黑色,辉绿结构,主要由长条形的斜长石杂乱排列,构成不规则的三角形构架,其中充填着细小的磁铁矿、辉石和隐晶质矿物。偶尔见到粒度较粗大的斜长石斑晶,基质中还有部分角闪石分布,局部地方见到由方解石组成的圆形或椭圆形的杏仁体,偶见石英岩角砾。辉绿岩的岩心长度为 3.01 m,侵入到大理岩中。大理岩为白色,粗粒粒状变晶结构,瘤状构造、厚层状构造,主要矿物为方解石,局部地方见灰色角砾状大理岩。

(3) 样品 10CL536

该样品岩性为花岗闪长岩,取自钻孔 ZK66 岩心第 232-3/10 回次,对应的孔深为 572 m。岩石为灰白—灰黑色,中细粒不等粒半自形粒状结构,块状构造,主要矿物为斜长石、角闪石,其次为钾长石、石英,少量的黑云母。副矿物为锆石、磷灰岩、楣石等。

4 分析方法

4.1 锆石 U-Pb 定年

分别采集钻孔岩心样品 10CL534、10CL535、10CL536 各 2 kg,破碎至 40~80 目,用水淘洗粉尘后,先用磁铁除去磁铁矿等磁性矿物,再用重液选出锆石,最后在双目镜下人工挑出锆石。锆石的分选由河北廊坊区调院完成。将锆石和标样一起粘在玻璃板上,用环氧树脂浇铸,制成薄片、抛光,并拍照反射光和阴极发光照片,最后在激光剥蚀电感耦合等离子体质谱(LA-ICP-MS)上测定锆石的 U、Th、Pb 含量及同位素组成。样品定年在中国科学技术大学激光剥蚀电感耦合等离子体质谱(LA-ICP-MS)实验室完成,实验选择的标样为 91500,²⁰⁶Pb/²³⁸U 年龄的加权平均值误差为 95%置信度误差。U/Pb 比值数据处理使用软件 LaDating@Zrn,校正 Pb 同位素使

岩类	层位	换层厚度/m	分层厚度/m	岩心长度/m	分层采取率/%	柱状图 1:200	岩性描述
岩浆岩 LA-ICP-MS U-Pb定年							
	1	8.17	8.17	7.75	94.86		浮土夹碎石: 土黄色夹褐红色, 松散状结构, 块状构造。矿物成分为粘土质、泥质等。碎石为石英砂岩、石英岩, 见铁帽。
	2	245.32	237.15	234.05	94.86		花岗岩长岩: 灰白-灰黑色, 半自形粒状结构, 块状构造。主要矿物为斜长岩、钾长石、角闪石、黑云母, 局部发育钾长石化、绿泥石化、高岭土化。
	3	307.43	62.11	62.11	100.00		二长斑岩: 灰色, 斑状结构, 块状构造。斑晶由斜长石、黑云母组成, 基质为斜长石钾长石及石英, 局部见绢云母化、黄铁矿化, 上、下接触面轴心夹角160 3/11-∠25°, 167 8A/10-∠25°
	4	380.78	73.35	73.32	99.96		花岗岩长岩: 灰白-灰黑色, 半自形粒状结构, 块状构造。主要矿物为斜长石、钾长石、角闪石、黑云母及石英, 局部发育钾长石化、绿泥石化、高岭土化。
	5	464.06	83.28	83.07	99.75		二长斑岩: 灰色, 斑状结构, 块状构造。斑晶为斜长石、黑云母, 基质为斜长石、钾长石及石英, 局部绢云母化、黄铁矿化。
(143.4±3.5)Ma	6	717.63	253.57	252.48	99.57		花岗岩长岩: 灰白-灰黑色, 半自形粒状结构, 块状构造。主要矿物为斜长岩、钾长石、钾长石、角闪石、黑云母及石英, 局部发育钾化、绿泥石化、高岭土化, 赤铁矿化较强烈。
	7	758.93	41.30	41.08	99.47		大理岩: 灰白色-白色, 粗粒粒状变晶结构, 厚层状构造。矿物为方解石。岩层层理轴心夹角290 5/6-∠30°, 298 1/6-∠40°。
	8	766.17	7.24	7.24	100.00		蚀变花岗岩长岩: 灰黑-褐绿色, 半自形粒状结构, 块状构造, 主要矿物为斜长石、钾长石、角闪石、黑云母及石英。砂卡岩化较发育, 局部发育钾长石化、绿泥石化、高岭土化。
	9	769.29	3.12	3.12	100.00		大理岩: 灰白色-白色, 粒状变晶结构, 厚层状构造, 矿物成分为方解石。
	10	772.10	2.81	2.81	100.00		花岗岩长岩: 灰白-灰黑色, 半自形粒状结构, 块状构造。矿物成分为斜长石、钾长石、角闪石、黑云母和石英。
	11	781.76	9.66	9.58	99.17		大理岩夹角岩: 大理岩为灰白色, 粒状变晶结构, 厚层状构造, 矿物成分为方解石。角岩为灰黑色, 致密粒状结构, 层状构造, 主要矿物为粘土质。
	12	814.77	33.03	32.70	99.06		花岗岩长岩: 灰白-灰黑色, 半自形粒状结构, 块状构造。主要矿物为斜长石、钾长石、角闪石、黑云母及石英。
	13	816.08	1.31	1.30	99.24		砂卡岩: 浅绿色, 粒状变晶结构, 块状构造。主要矿物为透辉石、石榴石, 次要矿物为硅灰石、石英。下接触面轴心夹角322 4A/6-∠17°。
	14	820.84	4.76	4.76	100.00		大理岩: 灰白色-白色, 粒状变晶结构, 厚层状构造, 矿物成分为方解石。
	15	833.89	13.05	13.03	99.85		铅锌矿化大理岩: 灰白色-白色, 粒状变晶结构, 厚层状构造, 主要矿物为方解石, 见方铅矿化、闪锌矿化。
	16	927.19	93.30	93.27	99.97		大理岩: 灰色, 粗粒粒状变晶结构, 厚层状构造, 矿物为方解石, 层理轴心夹角355 5/12-∠50°。
	17	943.25	16.06	16.06	100.00		含硅灰石结核大理岩: 灰白色-白色, 粒状变晶结构, 厚层状构造。主要矿物为方解石, 含较多的硅灰石结核, 其中见闪长玢岩穿插。
(304.2±8.7)Ma	18	996.39	53.14	53.13	99.98		大理岩: 灰白色-白色, 粒状变晶结构, 厚层状构造, 矿物成分为方解石。见辉绿岩脉穿插。
	19	997.14	0.75	0.75	100.00		含铜硫铅锌矿化大理岩: 灰白色-白色, 粒状变晶结构, 厚层状构造, 矿物成分为方解石, 发育黄铜矿化、黄铁矿化、方铅矿化、铁闪锌矿化。
	20	1025.40	28.26	28.25	100.00		大理岩: 灰色, 粗粒粒状变晶结构, 厚层状构造。矿物为方解石。岩层层理轴心夹角398 3/8-∠17°。
	21	1025.90	0.50	0.50	100.00		绿泥石化角岩: 灰绿色, 致密粒状变晶结构, 层状构造。主要矿物为粘土质, 具绿泥石化、碳酸盐化。
	22	1036.56	10.66	10.66	100.00		大理岩: 灰色, 粗粒粒状变晶结构, 厚层状构造。矿物为方解石。
	23	1037.58	1.02	1.02	100.00		含铜黄铁矿铅锌矿: 灰色, 半自形-他形晶结构, 块状构造。金属矿物为黄铁矿、黄铜矿、闪锌矿、方铅矿。
	24	1052.71	15.13	15.13	100.00		大理岩: 白色, 粒状变晶结构, 厚层状构造, 主要矿物为方解石。
	25	1053.36	0.65	0.65	100.00		高岭土化花岗岩: 浅灰色, 斑状结构, 块状构造。斑晶斜长石及部分基质均高岭土化, 暗色矿物较少。下接触面轴心夹角∠40°。
	26	1059.78	6.42	6.42	100.00		大理岩: 白色, 粒状变晶结构, 厚层状构造, 主要矿物为方解石。
	27	1060.03	0.25	0.25	100.00		含铜黄铁矿铅锌矿: 灰色, 半自形-他形晶结构, 块状构造。金属矿物为黄铁矿、黄铜矿、闪锌矿、方铅矿。
	28	1062.82	2.79	2.79	100.00		瘤状大理岩: 白色, 粗粒粒状变晶结构, 瘤状构造、厚层状构造。矿物成分为大理岩。
	29	1114.76	51.94	51.94	100.00		大理岩: 灰色, 粗粒粒状变晶结构, 瘤状构造、厚层状构造。矿物为方解石。428 11B/11-429 1/12为灰色角砾状大理岩。岩层面轴心夹角425 1/8-∠50°。
	30	1120.28	5.52	5.52	100.00		黄铁矿化滑石蛇纹石岩: 灰绿色, 显微晶质结构, 致密块状构造。主要矿物为蛇纹石、滑石等, 发育黄铁矿化。
(132.2±1.8)Ma	31	1123.72	3.44	3.44	100.00		蚀变花岗岩: 浅灰色, 斑状结构, 块状构造, 长石斑晶及部分基质高岭土化, 暗色矿物较少。
	32	1132.07	8.35	8.35	100.00		滑石蛇纹石岩: 灰绿色, 显微晶质结构, 致密块状, 主要矿物为蛇纹石、滑石等, 矿化不明显。
	33	1132.62	0.55	0.55	100.00		底砾岩: 灰色, 砾状结构, 块状构造, 主要矿物为石英, 硅质胶结, 石英砾石大小为0.3-1厘米。
	34	1145.40	12.78	11.77	92.10		滑石蛇纹石岩: 灰绿色, 显微晶质结构, 致密块状构造。主要矿物为蛇纹石、滑石等。
	35	1148.93	3.53	3.53	100.00		蚀变花岗岩: 浅灰色, 斑状结构, 块状构造, 长石斑晶及部分基质高岭土化, 暗色矿物较少。
	36	1155.33	6.40	6.37	99.53		滑石蛇纹石岩: 灰绿色, 显微晶质结构, 致密块状构造。主要矿物为蛇纹石、滑石等。发育黄铁矿化、黄铜矿化。
	37	1155.60	0.27	0.25	92.59		石英岩: 白色, 致密结构, 块状构造。主要矿物为石英。

图2 钻孔 ZK66 岩心柱状图

开孔日期:2010年8月12日,终孔日期:2010年12月20日;孔口坐标:N30°51.865', E118°3.147', 孔深:1155.60 m

Fig.2 Drilling ZK 66 core histogram

Drilling date from August 12 to October 20 in 2010. Coordinate: X=3418877, Y=39597717. Drilling depth: 1155.60m

用软件 ComPb corr#3-18^[30],校正后的数据使用美国 Berkeley 地质年代学中心编制的 ISOPLOT 和 SQUID^[31,32]程序进行处理并得出年龄。详细分析方法如袁洪林等^[33]的描述。

4.2 全岩化学分析

本文对定年岩石样品进行了化学全分析(表 1),由中国地质科学院测试所(国家地质实验测试中心)完成。氧化物用 X 荧光光谱仪 3080E 测试,执行标准分别为:Na₂O、MgO、Al₂O₃、SiO₂、P₂O₅、K₂O、CaO、TiO₂、MnO、Fe₂O₃、FeO,按 GB/T14506.28-1993 标准;H₂O⁺按 GB/T14506.2-1993 标准;CO₂按 GB 9835-1988 标准;LOI 按 LY/T 1253-1999 标准;稀土元素 La、Ce、Pr、Nd、Sm、Eu、Gd、Tb、Dy、Ho、Er、Tm、Yb、Lu、Y 和微量元素 Cu、Pb、Th、U、Hf、Ta、Sc、Cs、V、Co、Ni 用等离子质谱 Excell 测试,执行标准为 DZ/T0223-2001;微量元素 Sr、Ba、Zn、Rb、Nb、Zr、Ga 用 X 荧光光谱仪 2100 测试,执行 JY/T016-1996 标准。用不同的分析方法交叉检查,参考国际标准 GBW 校正。分析精度分别为:主要氧化物 Na₂O、MgO、Al₂O₃、SiO₂、K₂O、CaO 和 FeO 为 1%,Fe₂O₃、P₂O₅、TiO₂、MnO、H₂O⁺ 和 CO₂ 为 10%,

微量元素 La、Ce、Pr、Nd、Y、Sr、V、Zn、Ga、Rb、Cs、Pb、Th、Nb、Zr 和 Ba 为 15%,Sm、Eu、Gd、Tb、Dy、Er、Yb、V、Co、Ni、U、Hf、Ta 和 Sc 为 20%,Tb、Ho、Tm 和 Lu 为 25%。

5 测试结果

5.1 岩石地球化学

样品 10CL534(花岗斑岩)和 10CL535(辉绿岩)的化学全分析结果具有较高的烧失量,说明岩石蚀变较强,与镜下观察的结果一致。去除挥发分后,SiO₂ 含量(%)分别为 72.54、51.26,Na₂O 和 K₂O 含量分别为 4.55、2.06 和 0.13、3.53。在硅碱图上,样品 10CL535(辉绿岩)落入二长辉长岩区,10CL534(花岗斑岩)落入花岗岩和花岗闪长岩的分界线上,样品 10CL536(花岗闪长岩)落入花岗闪长岩区。在硅钾图上,样品 10CL535(辉绿岩)落入橄榄安粗岩系列区,样品 10CL536(花岗闪长岩)落入高钾钙碱性系列区,与前人的研究结果一致^[9,28],而样品 10CL534(花岗斑岩)落入低钾系列区。所有样品的 ASI 均小于 1,为准铝质岩石(表 1)。

样品 10CL536(花岗闪长岩)和 10CL535(辉绿

表 1 定年样品全岩主量元素(%)和微量元素(10⁻⁶)含量

Table 1 Content of major (%) and trace elements (×10⁻⁶) of whole-rock for dating samples

分析项目	10CL534	10CL535	10CL536	分析项目	10CL534	10CL535	10CL536	分析项目	10CL534	10CL535	10CL536
SiO ₂	66.88	45.92	62.1	Y	14.53	33.78	26.64	La	55.93	45.55	49.80
TiO ₂	0.17	1.22	0.55	Zr	642	434	96.2	Ce	81.48	83.14	84.12
Al ₂ O ₃	14.33	16.29	16.10	Hf	4.31	4.14	1.34	Pr	7.93	10.17	9.60
Fe ₂ O ₃	0.49	4.11	2.75	Sc	4.64	11.69	11.14	Nd	25.81	40.34	37.39
FeO	0.74	5.29	2.42	Li	14.51	32.35	7.16	Sm	3.97	8.04	6.86
MnO	0.10	0.19	0.09	Be	2.05	1.81	2.66	Eu	0.98	2.35	1.98
MgO	0.39	2.74	1.93	Co	3.57	17.13	13.83	Gd	3.62	6.98	6.07
CaO	4.69	8.18	5.04	Ni	8.86	7.952	4.313	Tb	0.48	1.07	0.90
Na ₂ O	4.20	1.84	2.91	Cu	23.99	23.72	40.24	Dy	2.35	6.07	4.99
K ₂ O	0.12	3.16	3.78	Zn	133.6	163.5	55.88	Ho	0.47	1.16	0.94
P ₂ O ₅	0.09	0.65	0.33	Ga	17.41	15.89	22.17	Er	1.54	3.54	2.79
H ₂ O ⁺	2.92	4.23	0.67	Rb	129.3	83.58	101.9	Tm	0.28	0.58	0.46
CO ₂	1.07	1.14	0.14	Nb	18.35	14.13	19.43	Yb	2.03	3.77	3.01
LOI	6.74	9.19	0.87	Cs	9.287	17.85	2.683	Lu	0.47	0.65	0.39
Total	98.94	98.78	98.86	Ta	1.38	0.72	1.37	ΣREE	187.35	213.42	209.30
SiO ₂ *	72.54	51.26	63.38	Pb	329	10.6	11.8	LR/HR	15.66	7.96	9.71
Na ₂ O*	4.55	2.06	2.97	Th	15.6	5.678	11.16	dEu	0.78	0.95	0.93
K ₂ O*	0.13	3.53	3.85	U	7.251	1.633	3.529	La/Sm	14.10	5.66	7.26
ASI	0.93	0.79	0.91	Ba	177	753	960	(La/Sm) _N	8.08	3.25	4.17
Na ₂ O/K ₂ O	35.79	0.58	0.77	Sr	81.0	771	889	(Gd/Yb) _N	1.51	1.57	1.71

注: * 为样品去除挥发分后的元素含量(%).

岩)均富集大离子亲石元素,亏损高场强元素,但花岗闪长岩的 Rb、Ba、Th、K 丰度比辉绿岩的高,而 P、Zr、Sm、Ti 比辉绿岩的低。表现在微量元素蛛网图上,两者具有明显的 Nb 负异常,显示岛弧火山岩的特征(图 3)。样品 10CL534(花岗斑岩)与上述的两个样品特征不同,原始地幔岩标准化后的曲线参差不齐(图 4)。

样品 10CL535(辉绿岩)、10CL536(花岗闪长岩)、10CL534(花岗斑岩)稀土元素总量分别为 213.42×10^{-6} 、 209.30×10^{-6} 、 187.35×10^{-6} ,轻重稀土元素比值分别为 7.96、9.71、15.66;各样品的轻稀土元素分留明显, $(La/Sm)_N$ 比值分别为 3.25、4.17、8.08,重稀土分留不明显, $(Gd/Yb)_N$ 比值分别为 1.57、1.71、1.51。球粒陨石标准化配分模式基本相似,无明显的正负 Eu 异常, δEu 值分别为 0.95、0.93、0.78(图 5)。

5.2 锆石 U-Pb 定年结果

3 个样品的锆石 LA-ICP-MS U-Pb 定年数据列于表 2,各样品锆石特征及定年结果分述如下:

样品 10CL534(花岗斑岩):锆石为柱状,长宽比为 2:1~3:1,具有较好的振荡环带,但锆石外围均有一层宽窄不一的白边,可能是遭受后期流体的改造作用。30 颗锆石 LA-ICP-MS U-Pb 定年结果表明,锆石的 U、Th 含量分别为 27.76×10^{-6} ~ 126.91×10^{-6} 和 5.45×10^{-6} ~ 91.82×10^{-6} ,锆石的 Th/U 比值变化于 0.13~1.37(表 2),除 2 号、7 号锆石的 Th/U 比值为 0.13 和 0.17 外,其余均 >0.35。 $^{206}Pb/^{238}U$ 年龄变化于 (124 ± 3) Ma 到 (725 ± 15) Ma 之间,除去继承性锆石核和不谐和的测点后,26 个锆石测点的加权平

均年龄为 (132.2 ± 1.8) Ma (MSWD=1.15, n=26)(图 5-a₁、5-a₂)。

样品 10CL535(辉绿岩):样品锆石具有较好的柱面和锥面,长宽比为 3:1~4:1,具有明显的条带状结构。26 颗锆石测定结果表明,锆石的 U、Th 含量分别为 11.71×10^{-6} ~ 139.26×10^{-6} 和 10.91×10^{-6} ~ 308.92×10^{-6} ,锆石的 Th/U 比值变化于 0.38 到 2.22 之间。26 个测点得出的 $^{206}Pb/^{238}U$ 年龄变化于 (162 ± 4) Ma 到 (659 ± 16) Ma 之间,除 9 号为继承性老锆石外,再去除不谐和的测点后,其余 18 颗锆石的加权平均年龄为 (304.2 ± 8.7) Ma (MSWD=1.6, n=18)(图 5-b₁、5-b₂)。

样品 10CL536(花岗闪长岩):样品锆石为柱状,长宽比为 2:1~3:1。大多数锆石的 CL 图像显示振荡环带结构,这是典型的岩浆结晶锆石^[6]。部分锆石含有老的继承性核,如 3 号、14 号、19 号、21 号、22 号和 25 号锆石。锆石的 U、Th 含量分别为 5.53×10^{-6} ~ 29.51×10^{-6} 和 5.72×10^{-6} ~ 22.89×10^{-6} ,Th/U 比值为 0.44~1.05(表 2)。28 颗锆石测点得出的 $^{206}Pb/^{238}U$ 年龄变化于 (131 ± 4) Ma 到 (1942 ± 43) Ma 之间,除去老的继承性锆石和不谐和的测点,其余 20 个测点的 $^{206}Pb/^{238}U$ 年龄加权平均值为 (143.4 ± 3.5) Ma,该年龄为岩浆结晶的年龄(图 5-c₁、5-c₂),这一年龄与前人的定年结果在误差范围内基本一致^[9,37-38]。

6 讨论

6.1 铜陵地区晚古生代岩浆活动的意义

铜陵地区晚古生代地层中发现火山岩的报道不

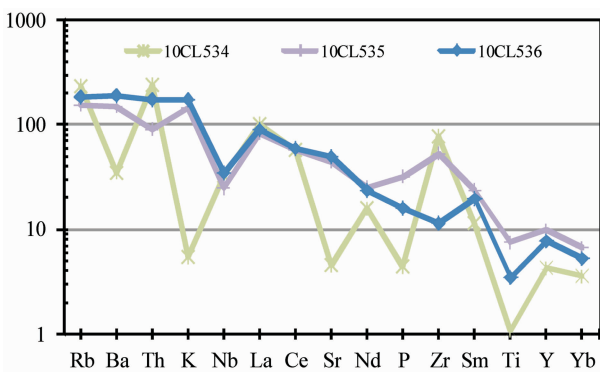


图 3 微量元素蛛网图,标准化值据 Sun et al.^[34]
Fig.3 Primitive mantle-normalized trace element spider diagram (normalizing values after Sun et al.^[34])

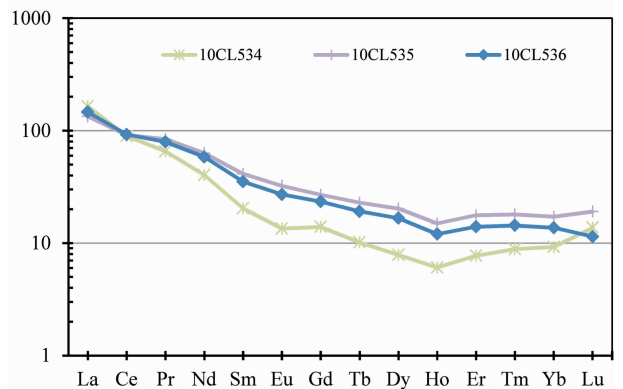


图 4 稀土元素球粒陨石标准化配分曲线,标准化值据 Taylor et al.^[35]

Fig.5 Chondrite-normalized REE patterns of intrusion and enclaves from Tongling (normalizing values after Taylor et al.^[35])

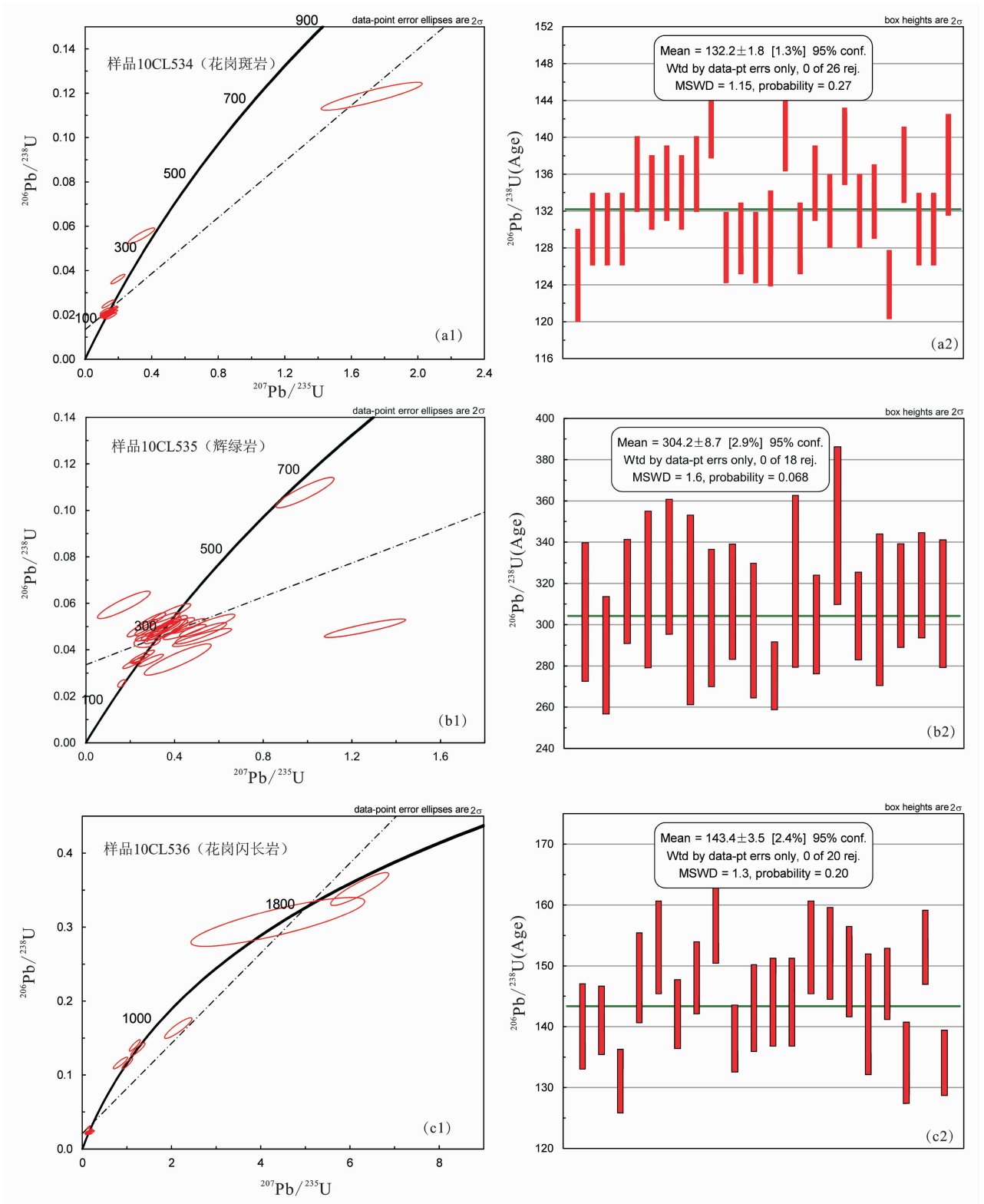


图 5 锆石 LA - ICP - MS $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ - $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 谐和图

Fig.5 Zircon LA - ICP - MS $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ - $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ concordia diagram from intrusive rocks in Tongling

少^[18-21],但石炭纪存在火山活动的报道存在较大的争议^[18,21,38]。如黄志诚^[21]通过铜陵地区野外剖面观察和新桥矿区石炭系剖面的实测,认为阎学义等人^[18]报道的石炭纪火山岩是一套超浅成侵入的英安质次火山岩和熔岩,占据了上泥盆统的五通组顶部和黄龙组地层的位置,并且,这些超浅成侵入的次火山岩穿过了五通组、石炭系和二叠系,是一次发生于石炭—二叠纪之后的岩浆侵入事件,并不是石炭纪黄龙组沉积时形成的。因此,铜陵新桥地区石炭纪威宁期(黄龙组沉积期)并未发生海底火山喷发或海底喷流的沉积作用^[21],该地区为正常的浅陆表海台地型碳酸盐岩沉积区,并非断裂拗陷区^[21]。但笔者的研究表明,产于石炭系大理岩中的辉绿岩锆石的 LA-ICP-MS U-Pb 年龄为 304 Ma,证实本区石炭纪存在海底岩浆活动。从构造环境来看,铜陵地区晚古生代属于扬子克拉通北缘形成的一条 NEE 向裂谷带的一部分^[26],是一种拉张的构造环境^[40-44]。在这种拉张的构造环境下,发育辉绿岩脉的侵位是很正常的。因此,石炭纪辉绿岩的发现,证实了前人的两项研究成果,一是本区石炭纪存在岩浆活动,二是本区石炭纪构造环境为拉张的裂陷槽^[39-40,43-44]。

许多矿床学者认为本区石炭纪海底沉积过程中,存在大量的喷流作用,形成以黄铁矿为主,含少量黄铜矿、辉铜矿、方铅矿和闪锌矿的块状硫化物矿层^[24],中生代岩浆侵入作用对这些沉积形成的块状硫化物矿床进行叠加改造,形成了规模较大的矿床^[45,24-25]。那么,海底喷流的驱动机制是什么?不少人认为是石炭纪高地温异常引起海底喷流^[24],但高地温异常又是如何形成的?是不是与海底岩浆活动有关?虽然有人报道过铜陵地区石炭纪、二叠纪和三叠纪存在岩浆活动^[18,20-21],但尚未发现可靠的年代学证据,故一些研究者认为,本区石炭系产出的矿床与循环海水对海底岩石的淋滤有关^[39]。成矿物质既可以来自深部岩浆,也可以来自循环海水对海底岩石的淋滤^[39]。最近的研究发现,石炭纪地层中层状硫化物矿床的下盘存在脉状、网脉状矿化,可能是海底喷流的通道^[46-51]。郭维民等^[52]通过新桥矿下盘喷流通道上的脉状黄铁矿的 Re-Os 同位素测定,得出 ¹⁸⁷Re-¹⁸⁷Os 等时线年龄为(319±13) Ma(MSWD=16),与谢光华等^[53]报导的黄铁矿 Rb-Sr 等时线年龄(313±32) Ma 在误差范围内一致,类似的年龄还有江西武山层状硫化物中黄铁矿的 Rb-Sr 年龄(328±31) Ma^[53]和安

徽青阳峙门口层状硫化物矿床中黄铁矿的 Re-Os 等时线年龄(303±32) Ma^[54]。这些研究成果表明,石炭纪存在喷流沉积成矿作用,其年龄与我们获得的辉绿岩的年龄一致,说明喷流作用可能与海底岩浆活动有密切的成因联系。可能正是石炭纪岩浆活动提供的热量,在海底不同的部位产生了温度梯度,促使海水发生对流循环,进而形成喷流沉积作用。然而,本区石炭系中的层状矿床与世界典型的 SEDEX 型矿床存在一些差异^[49],因为,世界上典型的 SEDEX 型矿床主要是 Pb、Zn 矿床^[55],如 Mout Isa 和 Sullivan,含铜很少^[56],而本区石炭纪地层中的层状矿床含铜、金,如冬瓜山铜金矿床、新桥铜金硫矿床等^[49]。笔者认为,本区石炭系中的层状矿床,除了燕山期岩浆侵入活动提供了大量的成矿物质组分外,石炭纪海底岩浆活动可能也提供了部分成矿物质组分。因此,石炭纪岩浆活动不仅产生较高的地温梯度驱动喷流作用的发生,还为层状硫化物矿床提供了部分成矿物质。

6.2 铜陵中生代岩浆侵入活动的时代及持续时间

研究表明,区内高钾钙碱性系列侵入岩可分为无斑的中粒结构和含斑的微粒-显微晶质结构两种类型。其中辉长闪长岩、石英二长闪长岩、花岗闪长岩为等粒状的,而石英二长闪长玢岩、花岗闪长斑岩具有明显的斑状结构^[8-9,28]。从现有的定年数据来看,岩石类型相同且具有斑状结构的岩体比无斑结构的侵位时间要早,如瑶山花岗闪长斑岩的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄为 146 Ma^[9],新桥头花岗闪长斑岩为 147 Ma^[29],桥头扬花岗闪长斑岩为 148 Ma (未发表数据),而相邻的凤凰山花岗闪长岩为 142 Ma^[37,9,38];此外,无斑结构的同类岩浆侵位具有多期性,如南洪冲花岗闪长岩为 139 Ma^[29],晚于区内其他花岗闪长岩体,如同一矿田(狮子山矿田)内部的胡村花岗闪长岩为 142 Ma^[8]。而本文花岗斑岩的年龄为(132.2±1.8) Ma,是目前为止最年轻的年龄。因此,本区高钾钙碱性系列侵入岩浆活动开始于 148 Ma,结束于 132 Ma。橄榄安粗岩系列侵入岩不同的岩石类型也存在类似的规律,如舒家店辉石二长闪长岩为 142 Ma^[9],而焦冲辉石二长闪长岩为 137 Ma (未发表数据)。甚至同一个样品定年的结果也出现多组年龄的现象,如白芒山辉石二长闪长岩为(138.2±0.6) Ma^[8],但 ²³⁸U/²⁰⁶Pb-²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb 图上有 3 群谐和线上的年龄,每个群的年龄平均值分别是

表 2 铜陵凤凰山朱家山 ZK66 钻孔岩浆岩锆石 LA - ICP - MS U - Pb 定年数据
 Table 2 Zircon LA - ICP - MS U - Pb dating data of magmatic rocks from ZK 66 drill core at Zhujiashan, Fenghuangshan, Tongling

点号	含量/ 10^{-6}			同位素比值						年龄/Ma						
	Pb	Th	U	Th/U	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1 σ	$^{207}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1 σ	$^{207}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1 σ	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1 σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1 σ	
凤凰山朱家山钻孔 ZK66 岩心 432 (1/10) 回次花岗斑岩 (样品号: 10CL534)																
1	1.23	29.21	55.70	0.52	0.05863	0.00530	0.15670	0.01353	0.01951	0.00056	553	139	148	12	125	4
2	4.70	5.45	41.22	0.13	0.10586	0.00825	1.72316	0.12436	0.11863	0.00258	1729	101	1017	46	723	15
3	2.28	47.78	105.97	0.45	0.04528	0.00393	0.12650	0.01037	0.02040	0.00048	-6	135	121	9	130	3
4	2.10	44.28	99.50	0.44	0.04404	0.00368	0.12192	0.00951	0.02044	0.00048	-69	126	117	9	130	3
5	1.57	32.78	71.66	0.46	0.04979	0.00426	0.13822	0.01151	0.02035	0.00052	185	140	131	10	130	3
6	1.74	47.98	73.28	0.65	0.05089	0.00424	0.14853	0.01155	0.02128	0.00050	236	133	141	10	136	3
7	1.52	5.53	31.91	0.17	0.04433	0.00470	0.33901	0.03269	0.05571	0.00143	-53	160	296	25	349	9
8	2.01	60.69	87.99	0.69	0.05759	0.00486	0.16367	0.01316	0.02100	0.00049	514	136	154	11	134	3
9	1.41	27.05	63.98	0.42	0.04786	0.00426	0.13739	0.01197	0.02111	0.00053	92	147	131	11	135	3
10	2.14	44.52	96.86	0.46	0.04323	0.00373	0.12541	0.01035	0.02102	0.00048	-111	138	120	9	134	3
11	1.44	27.83	68.82	0.40	0.05213	0.00453	0.15369	0.01260	0.02129	0.00051	291	143	145	11	136	3
12	1.14	21.67	51.88	0.42	0.05468	0.00506	0.16360	0.01416	0.02231	0.00055	399	151	154	12	142	3
13	1.93	37.34	88.85	0.42	0.04763	0.00416	0.13119	0.01087	0.02004	0.00048	81	139	125	10	128	3
14	1.37	31.30	63.95	0.49	0.04855	0.00442	0.13369	0.01183	0.02017	0.00050	126	151	127	11	129	3
15	1.68	33.55	75.34	0.45	0.05218	0.00454	0.14496	0.01202	0.02000	0.00050	293	143	137	11	128	3
16	0.81	15.88	40.40	0.39	0.04621	0.00687	0.13197	0.01808	0.02018	0.00064	9	220	126	16	129	4
17	0.65	14.86	27.76	0.54	0.04209	0.00542	0.13763	0.01496	0.02489	0.00073	-172	156	131	13	159	5
18	1.50	22.49	64.11	0.35	0.05362	0.00565	0.15739	0.01577	0.02223	0.00066	355	172	148	14	142	4
19	1.69	46.26	75.47	0.61	0.04909	0.00430	0.13439	0.01122	0.02027	0.00049	152	143	128	10	129	3
20	1.75	19.65	46.56	0.42	0.03954	0.00360	0.19706	0.01741	0.03613	0.00087	-317	156	183	15	229	5
21	2.24	42.07	102.58	0.41	0.04896	0.00405	0.14318	0.01120	0.02117	0.00049	146	133	136	10	135	3
22	2.30	46.14	110.70	0.42	0.03911	0.00336	0.11297	0.00927	0.02076	0.00047	-342	166	109	8	132	3
23	1.18	20.26	53.96	0.38	0.03931	0.00405	0.11979	0.01156	0.02179	0.00054	-330	176	115	10	139	3
24	2.48	55.49	114.62	0.48	0.04608	0.00386	0.13192	0.01037	0.02067	0.00048	2	128	126	9	132	3
25	1.53	31.52	69.42	0.45	0.04382	0.00359	0.12259	0.00996	0.02087	0.00052	-80	132	117	9	133	3
26	1.32	31.80	63.22	0.50	0.05035	0.00435	0.13581	0.01146	0.01948	0.00048	211	145	129	10	124	3
27	2.03	56.99	88.15	0.65	0.04814	0.00401	0.14400	0.01127	0.02152	0.00050	106	131	137	10	137	3
28	1.96	91.82	66.81	1.37	0.04667	0.00437	0.12497	0.01197	0.02030	0.00050	32	165	120	11	130	3
29	2.72	66.27	126.91	0.52	0.04119	0.00348	0.11450	0.00921	0.02035	0.00045	-222	131	110	8	130	3
30	1.74	45.17	77.15	0.59	0.05044	0.00447	0.14705	0.01252	0.02153	0.00056	215	145	139	11	137	4
凤凰山朱家山钻孔 ZK66 岩心 380 (4/8) 回次辉绿岩 (样品号: 10CL535)																
1	1.91	23.84	34.92	0.68	0.06097	0.00615	0.36956	0.03697	0.04863	0.00174	638	154	319	27	306	11
2	2.57	29.81	43.40	0.69	0.08422	0.00840	0.52416	0.05457	0.04526	0.00159	1298	149	428	36	285	10
3	4.27	47.05	75.31	0.62	0.06682	0.00462	0.46232	0.03192	0.05025	0.00130	832	101	386	22	316	8
4	1.88	32.05	27.68	1.16	0.02732	0.00681	0.17196	0.04865	0.05931	0.00241	-404	284	161	42	371	15
5	2.77	33.55	40.81	0.82	0.07673	0.00735	0.54767	0.05117	0.05045	0.00199	1114	124	443	34	317	12
6	4.04	51.90	74.33	0.70	0.03938	0.00499	0.29134	0.02809	0.05214	0.00157	-326	168	260	22	328	10
7	1.76	25.59	27.16	0.94	0.06025	0.00592	0.36122	0.03942	0.04872	0.00248	612	149	313	29	307	15
8	1.71	35.79	33.52	1.07	0.08899	0.01582	0.41478	0.06162	0.03581	0.00276	1404	170	352	44	227	17
9	1.47	10.91	11.71	0.93	0.06673	0.00378	0.98860	0.05363	0.10761	0.00267	829	72	698	27	659	16
10	4.73	49.46	84.06	0.59	0.05266	0.00589	0.32417	0.04157	0.04810	0.00176	314	221	285	32	303	11
11	1.59	18.35	27.31	0.67	0.03712	0.00415	0.25442	0.02776	0.04935	0.00154	-464	273	230	22	311	9
12	2.64	38.72	38.71	1.00	0.07621	0.00669	0.51880	0.04746	0.04711	0.00186	1101	120	424	32	297	11
13	1.87	23.11	22.22	1.04	0.04605	0.00419	0.27658	0.02424	0.04356	0.00105		199	248	19	275	6
14	1.39	19.10	22.29	0.86	0.05497	0.00762	0.32317	0.04182	0.05106	0.00206	411	217	284	32	321	13
15	2.39	25.55	62.18	0.41	0.05917	0.00439	0.29351	0.02306	0.03546	0.00106	574	119	261	18	225	7

续表 2

点 号	含量/ 10^{-6}				同位素比值						年龄/Ma					
	Pb	Th	U	Th/U	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ
16	2.75	38.32	49.38	0.78	0.06735	0.00597	0.44633	0.03967	0.04762	0.00131	849	140	375	28	300	8
17	6.38	308.92	139.26	2.22	0.04605	0.00238	0.16173	0.00729	0.02547	0.00065		112	152	6	162	4
18	1.56	16.90	26.22	0.64	0.05353	0.00534	0.38018	0.03808	0.05554	0.00175	351	168	327	28	348	11
19	3.54	37.15	68.01	0.55	0.05111	0.00347	0.33792	0.02331	0.04836	0.00116	246	114	296	18	304	7
20	0.86	12.49	13.50	0.93	0.05824	0.00783	0.37029	0.04931	0.04883	0.00203	539	221	320	37	307	12
21	2.21	24.98	53.96	0.46	0.04459	0.00359	0.21267	0.01880	0.03425	0.00094	-40	143	196	16	217	6
22	1.32	14.72	32.21	0.46	0.05185	0.00424	0.25426	0.02272	0.03705	0.00112	279	147	230	18	234	7
23	1.54	15.24	40.34	0.38	0.04987	0.00321	0.24699	0.01598	0.03602	0.00082	189	106	224	13	228	5
24	3.23	41.74	56.43	0.74	0.05254	0.00384	0.35775	0.02726	0.04986	0.00136	309	124	311	20	314	8
25	2.84	33.83	51.81	0.65	0.05310	0.00390	0.36957	0.02479	0.05081	0.00127	333	107	319	18	319	8
26	2.89	18.98	48.61	0.39	0.19262	0.01304	1.25960	0.07493	0.04927	0.00163	2765	55	828	34	310	10
凤凰山朱家山钻孔 ZK66 岩心 232 (3/10) 回次岩体 (样品号: 10CL536)																
1	0.32	7.99	13.41	0.60	0.04758	0.00618	0.13295	0.01495	0.02195	0.00078	78	184	127	13	140	5
2	0.57	18.22	21.50	0.85	0.02975	0.00374	0.08209	0.01178	0.02217	0.00069	-295	146	80	11	141	4
3	1.74	8.73	12.11	0.72	0.05332	0.00395	0.85708	0.06632	0.11625	0.00322	342	125	629	36	709	19
4	0.45	12.04	19.29	0.62	0.04620	0.00425	0.13355	0.01310	0.02057	0.00070	8	152	127	12	131	4
5	0.40	10.98	16.16	0.68	0.03916	0.00480	0.12032	0.01484	0.02316	0.00073	-339	202	115	13	148	5
6	0.51	14.45	20.29	0.71	0.05023	0.00489	0.15992	0.01410	0.02405	0.00075	205	142	151	12	153	5
7	0.75	22.89	28.88	0.79	0.04899	0.00347	0.14462	0.01001	0.02229	0.00062	147	106	137	9	142	4
8	0.67	18.54	26.80	0.69	0.05243	0.00419	0.15380	0.01258	0.02320	0.00067	304	133	145	11	148	4
9	0.28	6.53	10.92	0.60	0.05159	0.00603	0.17797	0.01868	0.02519	0.00098	267	166	166	16	160	6
10	0.44	11.39	16.77	0.68	0.03330	0.00517	0.10367	0.01496	0.02167	0.00071	-143	162	100	14	138	4
11	0.52	13.58	21.11	0.64	0.04939	0.00503	0.13913	0.01330	0.02244	0.00074	167	154	132	12	143	5
12	0.49	13.10	18.87	0.69	0.05879	0.00483	0.16529	0.01327	0.02262	0.00073	560	119	155	12	144	5
13	0.69	17.54	23.16	0.76	0.03639	0.00423	0.14148	0.01556	0.02909	0.00095	-18	251	134	14	185	6
14	1.43	6.75	9.63	0.70	0.06758	0.00375	1.24938	0.06568	0.13485	0.00354	856	66	823	30	815	20
15	0.30	7.14	13.04	0.55	0.06331	0.00659	0.18462	0.01664	0.02251	0.00083	719	129	172	14	144	5
16	0.54	16.15	21.23	0.76	0.05493	0.00488	0.17693	0.01521	0.02409	0.00078	409	135	165	13	153	5
17	0.66	17.08	24.42	0.70	0.04594	0.00614	0.14667	0.01920	0.02392	0.00074	-5	211	139	17	152	5
18	0.48	12.18	18.73	0.65	0.04636	0.00501	0.14822	0.01522	0.02338	0.00077	16	165	140	13	149	5
19	5.48	5.72	8.97	0.64	0.10361	0.01937	4.38472	0.79676	0.30693	0.01351	1690	376	1709	150	1726	67
20	0.23	6.91	8.53	0.81	0.08536	0.01019	0.21765	0.02218	0.02230	0.00104	1324	126	200	18	142	7
21	4.21	19.69	25.56	0.77	0.06101	0.00288	1.17728	0.05033	0.13999	0.00319	640	54	790	23	845	18
22	3.90	12.90	29.51	0.44	0.06377	0.00312	1.01157	0.04848	0.11544	0.00290	734	60	710	24	704	17
23	2.54	5.79	5.53	1.05	0.12843	0.00636	6.21875	0.26581	0.35150	0.00909	2077	41	2007	37	1942	43
24	0.69	19.34	25.77	0.75	0.04133	0.00406	0.12657	0.01252	0.02309	0.00071	-214	144	121	11	147	4
25	1.80	6.38	10.63	0.60	0.09595	0.00611	2.15183	0.12599	0.16346	0.00572	1547	60	1166	41	976	32
26	0.43	12.81	17.11	0.75	0.04260	0.00592	0.11532	0.01670	0.02102	0.00080	-144	191	111	15	134	5
27	1.02	27.92	37.61	0.74	0.06648	0.00429	0.21625	0.01312	0.02405	0.00063	822	83	199	11	153	4
28	0.47	14.22	19.17	0.74	0.04201	0.00503	0.11962	0.01424	0.02104	0.00071	-177	164	115	13	134	4

(142.42±0.96) Ma (MSWD=0.35)、(138.70±1.0) Ma (MSWD=1.3)、(133.26±0.71) Ma (MSWD=0.01)^[8]。作者认为,该岩体最早侵位的时代应该为 142 Ma,但由于受到区内大规模岩浆侵入活动的影响,可能使早期侵位的岩体中大多数锆石发生了熔解再沉淀,形成了 139 Ma 的锆石,而 133 Ma 的年龄可能反映了区域上又一次岩浆构造热事件,这已经被本文的花岗斑岩定年结果所证实。另外,同一矿田与白芒山岩体相邻的曹山二长岩为(142.9±1.1) Ma^[57],朝山金矿辉绿二长闪长岩的锆石 U-Pb 年龄为 145 Ma(未发表数据),反映了橄榄安粗岩系列岩浆开始活动的时间大约为 145 Ma,并持续到 137 Ma。

7 结论

(1) 锆石 LA-ICP-MS U-Pb 定年结果表明,辉绿岩、花岗斑岩和花岗闪长岩的年龄分别为 (304.2±8.7) Ma、(132.2±1.8) Ma 和(143.4±3.5) Ma,反映了本区石炭纪存在岩浆活动;而本区中生代高钾钙碱性系列岩浆侵入活动开始于 148 Ma,可能结束于 132 Ma;橄榄安粗岩系列岩浆开始活动 145 Ma,结束于 137 Ma,区内同一种岩性的岩浆具有多次侵位的现象。

(2) 石炭纪辉绿岩的存在,一方面反映了当时构造环境为海底扩张环境,另一方面说明岩浆活动导致海底不同部位产生温度梯度,引起海水对流循环,从而驱动海底喷流作用的发生,同时,也提供了部分成矿物质组分,为石炭系形成大型矿床奠定了基础。这也解释了本区乃至整个长江中下游地区石炭系赋存的矿床规模最大的原因。

参考文献(References):

- [1] 常印佛,刘学圭. 铜陵地区层控砂卡岩矿床研究 [J]. 矿床地质, 1983, 2(1): 11-20.
Chang Yinbo, Liu Xuegui. Stratabound skarn type deposits—a case study of Lower Yangtzi depression within Anhui Province [J]. Mineral Deposits, 1983, 2 (1): 11-20 (in Chinese with English abstract).
- [2] 闻广,吴思本. 安徽铜陵凤凰山岩体若干特征与成矿关系 [J]. 中国地质科学院院报, 1983, 7: 343-349.
Wen Guang, Wu Siben. Some characteristics of the Fenghuangshan intrusion and its affinity to mineralization [J]. Bulletin of the Chinese Academy of Geological Sciences, 1983, 7: 343-349 (in Chinese with English abstract).
- [3] 邢凤鸣,徐祥. 铜陵鸡冠山岩体中的堆晶淬冷包体 [J]. 岩石矿物学杂志, 1995, 14(1): 19-25.
Xing Fengming, Xu Xiang. Cumulus-quenched inclusions in the Jiguanshan pluton of Tongling, Anhui Province [J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 1995, 14 (1): 19-25 (in Chinese with English abstract).
- [4] 邢凤鸣,徐祥. 安徽铜陵地区高钾钙碱性侵入岩 [J]. 地球化学, 1996, 25(1): 29-38.
Xing Fengming, Xu Xiang. High-potassium calc-alkaline intrusive rocks in Tongling area, Anhui Province [J]. Geochemica, 1996, 25 (1): 29-38 (in Chinese with English abstract).
- [5] 周珣若,吴才来,黄许陈,等. 铜陵中酸性侵入岩中同源包体及岩浆动力学 [J]. 岩石矿物学杂志, 1993, 12(1): 20-31.
Zhou Xunruo, Wu Cailai, Huang Xucheng, et al. Characteristics of cognate inclusions in intermediate-acid intrusive rocks of Tongling area and their magmatic dynamics [J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 1993, 12(1): 20-31 (in Chinese with English abstract).
- [6] 吴才来,周珣若,黄许陈,等. 铜陵地区中酸性侵入岩年代学研究 [J]. 岩石矿物学杂志, 1996, 15(4): 299-306.
Wu Cailai, Zhou Xunruo, Huang Xucheng, et al. ⁴⁰Ar/³⁹Ar chronology of intermediate-acid intrusive rocks from Tongling [J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 1996, 15 (4): 299-307 (in Chinese with English abstract).
- [7] 吴才来,陈松永,史仁灯,等. 铜陵中生代中酸性侵入岩特征及成因 [J]. 地球学报, 2003, 24(1): 41-48.
Wu Cailai, Chen Songyong, Shi Rendeng, et al. Origin and features of the Mesozoic intermediate-acid intrusive in Tongling area, Anhui, China [J]. Acta Geoscientia Sinica, 2003, 24 (1): 41-48 (in Chinese with English abstract).
- [8] 吴才来,董树文,国和平,等. 铜陵狮子山地区中酸性侵入岩锆石 SHRIMP U-Pb 定年及岩浆作用的深部过程 [J]. 岩石学报, 2008, 24(8): 1801-1812.
Wu Cailai, Dong Shuwen, Guo Heping, et al. Zircon SHRIMP U-Pb dating of intrusive rocks and hypomagmatic process from Shizishan, Tongling [J]. Acta Petrologica Sinica, 2008, 24(8): 1801-1812 (in Chinese with English abstract).
- [9] 吴才来,高前明,国和平,等. 铜陵中酸性侵入岩成因及锆石 SHRIMP 定年 [J]. 岩石学报, 2010, 26(9): 2630-2652.
Wu Cailai, Gao Qianming, Guo Heping, et al. Petrogenesis of the intermediate-acid intrusive rocks and zircon SHRIMP dating in Tongling, Anhui, China [J]. Acta Petrologica Sinica, 2010, 26(9): 2630-2652 (in Chinese with English abstract).
- [10] Wu C L, Chen S Y, Hao M Y, et al. The origin and features of the two intermediate-acid intrusive series in Tongling area, Anhui, China [J]. Continental Dynamics, 2001, 6(1): 1-12.
- [11] 杜杨松,秦新龙,李铨具. 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, 2004, 23(2): 109-116.
Du Yangsong, Qin Xinlong, Lee Honju, et al. Mesozoic mantle-derived magma underplating in Tongling, Anhui Province: Evidence from megacrysts and xenoliths [J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 2004, 23 (2): 109-116 (in Chinese with English abstract).
- [12] 杜杨松,李顺庭,曹毅,等. 安徽铜陵铜官山矿区中生代侵入岩

- 的形成过程—岩浆底侵、同化混染和分离结晶 [J]. 现代地质, 2007, 21(1):71-77.
- Du Yangsong, Li Shunting, Cao Yi, et al. UAFC-related origin of the Late Jurassic to Early Cretaceous intrusions in the Tongguanshan ore field, Tongling, Anhui Province, East China [J]. Geoscience, 2007, 21(1):71-77 (in Chinese with English abstract).
- [13] 王强, 许继峰, 赵振华, 等. 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), 2003, 33(4): 323-334.
- Wang Qiang, Xu Jifeng, Zhao Zhenhua, et al. 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), 2003, 33(4):323-334 (in Chinese).
- [14] 王云健, 刘经华, 徐兆文, 等. 安徽铜陵大团山石英闪长岩岩石化学特征及成因探讨 [J]. 地质找矿论丛, 2007, 22(4):264-286.
- Wang Yunjian, Liu Jinghua, Xu Zhaowen, et al. Petrochemical characteristics and discussion on the genesis of the Datuanshan quartz diorite in Tongling area, Anhui Province [J]. Contributions to Geology and Mineral Resources Research, 2007, 22 (4):264-286 (in Chinese with English abstract).
- [15] 孟祥金, 吕庆田, 杨竹森, 等. 长江中下游铜陵及邻区中生代中酸性侵入岩地球化学特征及其深部岩浆作用探讨 [J]. 地质学报, 2011, 85(5):757-777.
- Meng Xiangjin, Lv Qingtian, Yang Zhusen, et al. Geochemical characteristics of Mesozoic intermediate-acid intrusive rocks in Tongling and adjacent area of the middle and lower reaches of the Yangtze River and its indication to the deep-seated magmatism [J]. Acta Geologica Sinica, 2011, 85 (5):757-777 (in Chinese with English abstract).
- [16] 周涛发, 范裕, 袁峰. 长江中下游成矿带成岩成矿作用研究进展 [J]. 岩石学报, 2008, 24 (8):1665-1678.
- Zhou Taofa, Fan Yu, Yuan Feng. Advances on petrogenesis and metallogeny study of the mineralization belt of the Middle and Lower Reaches of the Yangtze River area [J]. Acta Petrologica Sinica, 2008, 24(8):1665-1678(in Chinese with English abstract).
- [17] 周涛发, 范裕, 袁峰, 等. 长江中下游成矿带火山岩盆地的成岩成矿作用 [J]. 地质学报, 2011, 85(5):712-730.
- Zhou Taofa, Fan Yu, Yuan Feng, et al. Petrogenesis and metallogeny study of the volcanic basins in the Middle and Lower Yangtze metallogenic belt [J]. Acta Geologica Sinica, 2011, 85(5): 712-730 (in Chinese with English abstract).
- [18] 阎学义, 袁成祥. 长江中下游成矿带中石炭纪海底火山喷发—沉积黄铁矿型铜矿地质特征 [J]. 南京大学学报(自然科学版), 1977, 1:43-67.
- Yan Xueyi, Yuan Chengxiang. Carboniferous submarine exhalative sedimentary pyrite type copper deposit [J]. Journal of Nanjing University (Natural Sciences), 1977, 1:43-67 (in Chinese with English abstract).
- [19] 侯生秀. 安徽铜陵发现火山碎屑岩 [J]. 地层学报, 1987, 11(1):75.
- Hou Shengxiu. Discovery of pyroclastic rocks in Tongling, Anhui [J]. Journal of Stratigraphy, 1987, 11 (1):75 (in Chinese with English abstract).
- [20] 吕培基, 金福全, 颜怀学, 等. 安徽铜陵二叠系龙潭组火山岩的发现及其意义 [J]. 合肥工业大学学报(自然科学版), 1993, 16(2): 147-150.
- Lu Peiji, Jin Fuquan, Yan Huaxue, et al. The discovery of volcanic rocks in Longtan formation of Permian system in Tongling, Anhui and Geological significance [J]. Journal of Hefei University of Technology, 1993, 16 (2):147-150 (in Chinese with English abstract).
- [21] 黄志诚. 安徽铜陵新桥黄龙组沉积期海底火山喷发—沉积质疑 [J]. 高校地质学报, 1999, 5(1):110-113.
- Huang Zhicheng. Do there exist sea-floor volcanic eruptive sediments in the Huanglong formation, Tongning Xinqiao Area, Anhui Province? [J]. Geological Journal of China Universities, 1999, 5(1):110-113(in Chinese with English abstract).
- [22] 曾普胜, 裴荣富, 侯增谦, 等. 安徽铜陵地块沉积—喷流块状硫化物矿床 [J]. 矿床地质, 2002, 21:532-535.
- Zeng Pusheng, Pei Rongfu, Hou Zengqian, et al. SEDEX-type massive sulfide deposits in Tongling block, Anhui, China [J]. Mineral Deposits, 2002, 21:532-535 (in Chinese with English abstract).
- [23] 曾普胜, 蒙义峰, 杨竹森, 等. 安徽铜陵矿集区与块状硫化物矿床有关的热液沉积岩 [J]. 矿床地质, 2004, 23(3):334-343.
- Zeng Pusheng, Meng Yifeng, Yang Zhusen, et al. Hydrothermal sedimentary rocks of Sedex-type massive sulfide deposits in Tongling ore cluster area, Anhui Province [J]. Mineral Deposits, 2004, 23(3):334-343(in Chinese with English abstract).
- [24] 杨竹森, 侯增谦, 蒙义峰, 等. 安徽铜陵矿集区海西期喷流沉积流体系统时空结构 [J]. 矿床地质, 2004, 23(3):281-297.
- Yang Zhusen, Hou Zengqian, Meng Yifeng, et al. Spatial-temporal structures of Hercynian exhalative-sedimentary fluid system in Tongling ore concentration area, Anhui Province [J]. Mineral Deposits, 2004, 23(3):281-297 (in Chinese with English abstract).
- [25] 徐兆文, 陆现彩, 高庚, 等. 铜陵冬瓜山层状铜矿同位素地球化学及成矿机制研究 [J]. 地质论评, 2007, 53(1):44-51.
- Xu Zhaowen, Lu Xiancai, Gao Geng, et al. Isotope geochemistry and mineralization in the Dongguashan stratified copper deposit, Tongling area [J]. Geological Review, 2007, 53 (1):44-51 (in Chinese with English abstract).
- [26] 常印佛, 刘湘培, 吴言昌. 长江中下游铁铜成矿带 [M]. 北京:地质出版社, 1991:1-379.
- Chang Yinbo, Liu Xiangpei, Wu Yanchang. The Iron-copper Ore-forming Belt of Middle-lower Yangtze River [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1991:1-379 (in Chinese).
- [27] 杨小男, 徐兆文, 徐夕生, 等. 安徽铜陵狮子山矿田岩浆岩锆石 U-Pb 年龄意义 [J]. 地质学报, 2008, 82(4):510-516.
- Yang Xiaonan, Xu Zhaowen, Xu Xisheng, et al. Zircon U-Pb geochronology and its implication for the temperature of

- Yanshanian magma in Tongling, Anhui Province[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2008, 82(4):510-516 (in Chinese with English abstract).
- [28] 吴才来,董树文,郭祥焱,等.中国铜陵中酸性侵入岩[M].北京:地质出版社,2012:1-232.
- Wu Cailai, Dong Shuwen, Guo Xiangyan, et al. Intermediate-acid Intrusive Rocks from Tongling, China [M]. Beijing:Geological Publishing House, 2012:1-232 (in Chinese with English abstract).
- [29] 吴才来,郭祥焱,王次松,等.铜陵地区高钾钙碱性系列侵入岩锆石 U-Pb 年代学及其地质意义[J].*地球化学*, 2013, 42(1):11-28.
- Wu Cailai, Guo Xiangyan, Wang Cisong, et al. Zircon U-Pb dating of High-K calc-alkaline intrusive rocks from Tongling: Implications for the tectonic setting [J]. *Geochemica*, 2013, 42(1): 11-28 (in Chinese with English abstract).
- [30] Anderson T. Correction of common lead in U-Pb analyses that do not report ^{204}Pb [J]. *Chemical Geology*, 2002, 192(1/2):59-79.
- [31] Ludwig K R. *Squid 1.02: A user's manual*; Berkeley Geochronology Center Special Publication. No. 2, 2001:15-35.
- [32] Ludwig K R. *User's manual for Isoplot 3.00: A geochronological toolkit for Microsoft Excel*; Berkeley Geochronology Center Special Publication. No. 4, 2003:1-70.
- [33] 袁洪林,吴福元,高山,等.中国东部新生代侵入体的锆石激光探针年龄测定与稀土元素成分分析[J].*科学通报*, 2003, 48(14): 1511-1520.
- Yuan Honglin, Wu Fuyuan, Gao Shan, et al. LA-ICP-MS zircon U-Pb age and REE of Cenozoic pluton in NE China [J]. *Chinese Sci. Bull.*, 2003, 48(14):1511-1520(in Chinese).
- [34] Sun S S, McDonough W F. Chemical and Isotopic Systematics of Oceanic Basalts: Implications for Mantle Composition and Processes [M] // *Sunders A D, Norry M J. Magmatism in the Ocean Basins, Special Publications, London, 1989, 42:313-345.*
- [35] Taylor S R, McClelland S. *The Continental Crust: Composition and Evolution* [M]. Blackwell Scientific Publications, 1985, 54: 209-230.
- [36] Pidgeon R T, Nemchin A A, Hitchen G J. Internal structures of zircons from Archaean granites from the Darling Range batholith: Implications for zircon stability and the interpretation of zircon U-Pb ages[J]. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 1998, 132: 288-299.
- [37] 张达,吴淦国,狄永军,等.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*, 2006, 31(6):823-829.
- Zhang Da, Wu Ganguo, Di Yongjun, et al. Emplacement dynamics of Fenghuangshan pluton (Tongling, Anhui Province): Constraints from U-Pb SHRIMP dating of zircons and structural deformation [J]. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 2006, 31 (6):823-829 (in Chinese with English abstract).
- [38] 瞿泓滢,裴荣富,李进文,等.安徽铜陵凤凰山石英二长闪长岩和花岗闪长岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄及其地质意义[J].*吉林大学学报(地球科学版)*, 2010, 40(3):581-590.
- Qu Hongying, Pei Rongfu, Li Jinwen, et al. SHRIMP U-Pb dating of zircon from the Fenghuangshan quartz monzodiorite and granodiorite in Tongling area, Anhui Province and its geological implication [J]. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 2010, 40(3):581-590 (in Chinese with English abstract).
- [39] 顾连兴,富士谷.下扬子威宁期断裂拗陷、火山活动及块状硫化物成矿作用——答黄志诚“安徽铜陵新桥黄组沉积期海底火山喷发-沉积质疑”一文[J].*高校地质学报*, 1999, 5(2):228-231.
- Gu Lianxin, Fu Shigu. Fault-induced depressing, volcanism and massive sulphide formation of the Lower Yangtze region at the Weining stage: A reply[J]. *Geological Journal of China Universities*, 1999, 5(2):228-231 (in Chinese with English abstract).
- [40] 夏邦栋,方中,吕洪波,等.华南古生代裂谷的沉积作用、岩浆活动与构造演化[J].*南京大学学报(自然科学)*, 1995, 31(2):114.
- Xia Bangdong, Fang Zhong, Lv Hongbo, et al. Paleozoic sedimentation, magmatism and tectonic evolution in South China rift [J]. *Journal of Nanjing University (Natural Sciences)*, 1995, 31 (2):114 (in Chinese with English abstract).
- [41] 翟裕生,姚书振,林新多,等.长江中下游铁铜(金)成矿规律[M].北京:地质出版社,1992:1-235.
- Zhai Yusheng, Yao Shuzhen, Lin Xinduo, et al. *Fe-Cu (Au) Metallogeny of the Middle-Lower Changjiang Region* [M]. Beijing:Geological Publishing House, 1992:1-235 (in Chinese).
- [42] 翟裕生,张湖,宋鸿林.大型构造与超大型矿床[M].北京:地质出版社,1997:1-180.
- Zhai Yusheng, Zhang Hu, Shong Honglin, et al. *Macroscopic Structures and Superlarge Ore Deposits* [M]. Beijing:Geological Publishing House, 1997:1-180(in Chinese).
- [43] 李文达,王文斌,范洪源,等.长江中下游铜(金)矿床密集区形成条件和超大型矿床存在的可能性[J].*火山地质与矿产*, 1997, 20 (增刊):1-131.
- Li Wenda, Wang Wenbin, Fan Hongyuan, et al. The conditions to form copper (gold) ore deposit concentrated areas and the possibilities to discover supergiantic copper (gold) ore deposit in Middle-Lower Yangtze area [J]. *Vocanology and Mineral Resources*, 1997, 20 (Supp.):1-131 (in Chinese with English abstract).
- [44] 顾连兴,徐克勤.论长江中、下游中石炭世海底块状硫化物矿床[J].*地质学报*, 1986, 60(2):176-188.
- Gu Lianxing, Xu Keqin. On the Carboniferous submarine massives sulphide deposits in the lower reaches of the Changjiang (Yangzi) River[J]. *Acta Geologica Sinica*, 1986, 60(2):176-188 (in Chinese with English abstract).
- [45] 陆建军,华仁民,徐兆文,等.安徽铜陵冬瓜山铜金矿床两阶段成矿模式[J].*高校地质学报*, 2003, 9 (4):678-690.
- Lu Jianjun, Hua Renmin, Xu Zhao wen, et al. A two-stage model for formation of the Dongguashan Cu-Au deposit [J]. *Geological Journal of China Universities*, 2003, 9 (4):678-690 (in Chinese with English abstract).

- [46] 李红阳, 杨竹森, 蒙义峰, 等. 铜陵矿集区块状硫化物矿床地质特征[J]. 矿床地质, 2004, 23(3):327-333.
Li Hongyang, Yang Zhusen, Meng Yifeng, et al. Geological characteristics of massive sulfide deposits in Tongling ore concentration area, Anhui Province [J]. Mineral Deposits, 2004, 23(3):327-333 (in Chinese with English abstract).
- [47] 李红阳, 李英杰, 侯增谦, 等. 安徽新桥块状硫化物矿床地球化学特征[J]. 地质科学, 2005, 40(3):337-345.
Li Hongyang, Li Yingjie, Hou Zengqian, et al. Geochemical features of the Xinqiao massive sulfide deposit in Anhui Province [J]. Chinese Journal of Geology, 2005, 40(3):337-345 (in Chinese with English abstract).
- [48] 李红阳, 李英杰, 康桂玲, 等. 安徽铜官山铜-铁-金-硫矿床的地球化学特征[J]. 地质科学, 2008, 43:370-376.
Li Hongyang, Li Yingjie, Kang Guiling, et al. Geochemical features of the Tongguanshan Cu-Fe-Au-S deposit in Anhui Province [J]. Chinese Journal of Geology, 2008, 43:370-376 (in Chinese with English abstract).
- [49] 陆建军, 郭维民, 陈卫峰, 等. 安徽冬瓜山铜(金)矿床成矿模式[J]. 岩石学报, 2008, 24(8):1857-1864.
Lu Jianjun, Guo Weimin, Chen Weifeng, et al. A metallogenic model for the Dongguashan Cu-Au deposit of Tongling, Anhui Province [J]. Acta Petrologica Sinica, 2008, 24(8):1857-1864 (in Chinese with English abstract).
- [50] Leach D L, Sangster D F, Kelley K D, et al. Sediment-hosted lead-zinc deposits: A global perspective [J]. Econ. Geol., 2005, 100: 561-607.
- [51] Goodfellow W K, Franklin J M. Geology, mineralogy, and chemistry of sediment-hosted clastic massive sulfides in shallow cores, Middle Valley, northern Juan de Fuca ridge [J]. Econ. Geol., 1993, 88:2037-2068.
- [52] 郭维民, 陆建军, 蒋少涌, 等. 安徽铜陵新桥矿床下盘矿化中黄铁矿 Re-Os 同位素定年: 海底喷流沉积成矿的年代学证据[J]. 科学通报, 2011, 56(36):3023-3028.
Guo Weimin, Lu Jianjun, Jiang Shaoyong, et al. The superimposed mineralization of the Dongguashan Cu deposit in Tongling area, Anhui Province: Evidence from the ore texture [J]. Acta Geologica Sina, 2011, 85(7):1223-1232 (in Chinese with English abstract).
- [53] 谢华光, 王文斌, 李文达. 安徽新桥铜硫矿床成矿时代及成矿物质来源[J]. 火山地质与矿产, 1995, 16(2):101-107.
Xie Huaguang, Wang Wenbin, Li Wenda. The genesis and metallogenetic epoch of Xinqiao Cu-S deposit, Anhui [J]. Volcanology and Mineral Resources, 1995, 16(2):101-107 (in Chinese with English abstract).
- [54] 蒙义峰, 杨竹森, 曾普胜, 等. 铜陵矿集区成矿流体系统时限的初步厘定[J]. 矿床地质, 2004, 23(3):271-280.
Meng Yifeng, Yang Zhusen, Zeng Pusheng, et al. Tentative temporal constraints of ore-forming fluid systems in Tongling metallogenic Province [J]. Mineral Deposits, 2004, 23(3):271-280 (in Chinese with English Abstract).
- [55] Laznicka P. Giant Metallic Deposits [M]. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2006:1-732.
- [56] Robb L. Introduction to Ore-Forming Processes [M]. Blackwell Publishing, 2005:1-373.
- [57] 王彦斌, 刘敦一, 曾普胜, 等. 安徽铜陵地区幔源岩浆底侵作用的年代——朝山辉石闪长岩锆石 SHRIMP 定年 [J]. 地球学报, 2004, 25(4):423-427.
Wang Yanbin, Liu Dunyi, Zeng Pusheng, et al. SHRIMP U-Pb geochronology of gabbro-diorite in the Chaoshan gold deposit and its geological significance [J]. Acta Geoscientica Sinica, 2004, 25(4): 423-427 (in Chinese with English abstract).

The discovery of late Paleozoic magmatism in Tongling area: Evidence from zircon U-Pb dating of diabase in Fenghuangshan ZK 66 drilling core

WU Cai-lai¹, DONG Shu-wen², WANG Ci-song³, GAO Qian-ming³, YAN Yong-tao³,
LI Xiang³, GAO Yuan-hong¹, LEI Min¹, QIN Hai-peng¹, LI Ming-ze¹, LIU Chun-hua¹

(1. Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China; 2. Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China; 3. No. 321 Geological Party, Anhui Bureau of Geology and Mineral Resources, Tongling 244033, Anhui, China)

Abstract: Fenghuangshan granodiorite with an outcropped area of approximately 10 km² is the largest pluton in Tongling area, belonging to high-K calc-alkaline series. ZK 66 drill hole at Zhujiashan located in the northwest corner of the Fenghuangshan pluton revealed that the pluton overlaps on the top of Triassic carbonate strata. Besides the granodiorite seen in the shallow part of the ZK 66 drill hole, the Late Devonian-Permian strata can also be found in the depth of the drill hole. Especially, the diabase with an age of 304 Ma and the granite porphyry with an age of 132 Ma were found in the Carboniferous marble, indicating the existence of late Paleozoic magmatism and probably the Mesozoic granite magmatism which lasted until 132Ma. The discovery of the late Carboniferous diabase reveals a sea-floor spreading environment and also indicates the close genetic relationship between the marine exhalation and the magmatism, which laid a solid foundation for the formation of a large ore deposit in that period.

Key words: zircon U-Pb dating; diabase; granite porphyry; drill hole ZK 66; Zhujiashan of Tongling

About the first author: WU Cai-lai, male, born in 1960, doctor, professor, supervisor of doctor candidates, engages in the study of petrology; E-mail: wucailai@126.com.