

# 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

张 达<sup>1,2</sup>, 吴淦国<sup>1,2</sup>, 狄永军<sup>1</sup>, 臧文拴<sup>1</sup>, 邵拥军<sup>3</sup>, 余心起<sup>1</sup>, 张祥信<sup>1</sup>, 汪群峰<sup>1</sup>

1. 中国地质大学地质过程与矿产资源国家重点实验室, 北京 100083

2. 中国地质大学岩石圈构造、深部过程及探测技术教育部重点实验室, 北京 100083

3. 中南大学地学与环境工程学院, 湖南长沙 410083

**摘要:** 地球动力环境对岩浆来源和侵位机制具有重要的控制作用。铜陵矿集区中生代中酸性侵入岩和大规模成矿作用有密切关系。凤凰山岩体为凤凰山矿田的主要组成部分, 主要岩石类型为花岗闪长岩、石英二长闪长岩。根据精确锆石 SHRIMP 测年结果, 凤凰山岩体<sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U 年龄为(144.2±2.3)Ma, 是晚侏罗世形成的一个典型岩体, 和铜陵矿集区主要成矿岩体的形成时代一致。接触带构造变形特征显示岩体侵位受控于区域左旋剪切应力场作用。内部构造变形特征表明凤凰山岩体在深部主要为左旋螺旋式强力上升, 浅部为气球膨胀式主动侵位。岩体形成时代及构造变形特征表现出晚侏罗世铜陵矿集区和成矿有关的侵入岩系列的形成可能和古太平洋板块的向北斜向俯冲所导致的左旋剪切应力场有关。

**关键词:** 铜陵; 凤凰山岩体; 锆石 SHRIMP U-Pb 年龄; 构造变形; 地球动力学。

中图分类号: P597; P541

文章编号: 1000-2383(2006)06-0823-07

收稿日期: 2006-02-11

## Emplacement Dynamics of Fenghuangshan Pluton (Tongling, Anhui Province): Constraints from U-Pb SHRIMP Dating of Zircons and Structural Deformation

ZHANG Da<sup>1,2</sup>, WU Gan-guo<sup>1,2</sup>, DI Yong-jun<sup>1</sup>, ZANG Wen-shuan<sup>1</sup>, SHAO Yong-jun<sup>3</sup>,  
YU Xin-qi<sup>1</sup>, ZHANG Xiang-xin<sup>1</sup>, WANG Qun-feng<sup>1</sup>

1. State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China

2. Key Laboratory of Lithospheric Tectonics and Lithoprobation Technology of Ministry of Education, China University of Geosciences, Beijing 100083, China

3. School of Geosciences and Environmental Engineering, Central South University, Changsha 410083, China

**Abstract:** Geodynamic settings play an important role in controlling generation, ascent and final emplacement of magma. Mesozoic intermediate-acid intrusive rocks are closely related with large scale mineralization in the Tongling metallogenic cluster area. The Fenghuangshan pluton, which consists of granodiorite and quartz monzodiorite, is the main part of the Fenghuangshan ore field. Zircon SHRIMP <sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U dating shows that the Fenghuangshan pluton formed at (144.2±2.3)Ma, belonging to the Late Jurassic era, which is in accordance with most of metallogenic plutons of the Tongling metallogenic cluster area. The contact deformation shows that the Fenghuangshan pluton was controlled by a regional sinistral shear stress field. The internal deformation indicates that the pluton experienced sinistral spiral ascent and final ballooning emplacement. The age and structural deformation imply that the Late Jurassic pluton related to mineralization may correlate with sinistral shear stress field induced by the northward oblique subduction of the paleo-Pacific plate.

**Key words:** Tongling; Fenghuangshan pluton; SHRIMP U-Pb dating of zircons; structural deformation; geodynamics.

基金项目: 国家自然科学基金重点项目 (No. 40434011); 国家重点基础研究发展规划项目 (No. 1999CB043206); 国家自然科学基金项目 (No. 40372050)。

作者简介: 张达 (1967—), 男, 副教授, 主要从事区域构造、区域成矿规律研究。E-mail: zhda@263.net

## 0 引言

地球动力环境对岩浆来源和侵位具有重要的控制作用。近年来,花岗岩体研究集中于岩体侵位的不同动力学背景。虽然花岗岩体可能形成于挤压、伸展、压扭及张扭等地球动力环境 (Vernon and Collins, 1988; Acocella and Rossetti, 2002; Duguet and Faure, 2004), 但要精确厘定岩体侵位机制和不同构造背景之间的关系还很困难。幸运的是, 很多同构造花岗岩体侵位过程中记录了叠加在岩体上的区域构造变形的形迹。通过对岩体和围岩构造的解析对比可以了解岩体侵位和区域构造的关系。铜陵凤凰山岩体是长江中下游地区中生代形成的一个代表性的侵入岩体。岩体构造变形发育, 但由于岩体缺乏精确的同位素年龄数据, 构造变形与岩体侵位的时空关系还不明确, 导致铜陵地区侵入岩形成的地球动力学背景有多种观点: 如印支期碰撞造山后剪切背景 (周泰禧等, 1988)、燕山期 NNE 向左行压扭斜滑动力学背景等 (李东旭, 1999)。本文将综合岩体锆石 SHRIMP U-Pb 定年及侵位构造变形研究, 确定铜陵地区花岗岩体活动时期区域构造的性质, 进而分析凤凰山岩体侵位的地球动力学背景。

## 1 区域地质背景及岩体特征

研究区地处长江中下游金属成矿带铜陵多金属聚矿区内, 位于大别造山带与江南地块之间的下扬子台褶带贵池—繁昌断褶束中段。NE 向复式褶皱、NNE 向断裂及近东西向的基底断裂形成区内的主要构造格局 (Wu *et al.*, 2003)。凤凰山、铜官山、狮子山、新桥岩体是区内的主要成矿岩体。研究区主要经历了前震旦纪基底形成阶段、震旦纪—早三叠世的盖层发育阶段以及中三叠世—新生代以断块构造为主的板内变形阶段。

凤凰山岩体呈长轴近 EW 向的椭圆形岩株产出, 面积近 10 km<sup>2</sup>。围绕岩体周围出露从志留系到中三叠统的地层 (图 1), 以二叠系至中下三叠统的灰岩为主。区内构造以凤凰山“S”状复式向斜为主, 岩体侵位于其核部。药园山、宝山陶—铁山头、仙人冲、清水塘以及江家冲等铜铁金硫化物矿床产于岩体接触带部位。主要岩石类型为花岗闪长岩、石英二长闪长岩; 少量斜长花岗岩、石英二长岩、二长花岗岩。

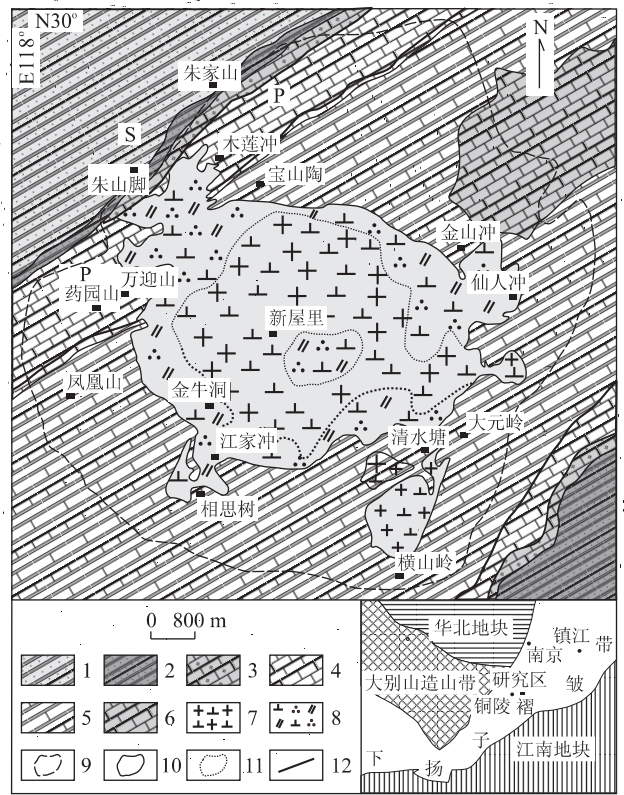


图 1 铜陵凤凰山岩体地质构造

Fig. 1 Geological structures of Fenghuangshan pluton in Tongling area

1. 中三叠统; 2. 中下三叠统; 3. 二叠系; 4. 中下石炭统; 5. 上泥盆统;
6. 志留系; 7. 花岗闪长岩; 8. 石英二长闪长岩; 9. 接触变质晕界线;
10. 岩体边界; 11. 岩相分界线; 12. 断层

花岗闪长岩岩石呈浅灰—灰黑色, 自形一半自形中细粒花岗结构, 分布在岩体中部, 主要由斜长石 (54%)、钾长石 (14%)、石英 (20%)、普通角闪石 (10%) 和黑云母 (2%) 组成。斜长石多呈长柱状或宽板状, 环带结构发育, 具熔蚀核的环带斜长石包裹偏酸性熔蚀斜长石和磷灰石, 有的包裹角闪石。斜长石牌号变化范围为 29.4~48.4。钾长石晶形多不规则, 呈长条状、椭圆状等充填于其他矿物间隙。表面浑浊, 绢云母化明显, 呈星点状分布。石英颗粒大多较小, 呈不规则状, 表面干净。角闪石晶形大, 一般呈两边尖的长条状, 自形程度较好, 表面常有透明矿物, 黑云母常呈巨大的片状他形晶体。

石英二长闪长岩为灰白色, 不等粒结构, 分布在岩体边缘。矿物成分有斜长石 (58%)、钾长石 (17%)、石英 (15%), 也有少量的角闪石 (7%) 和黑云母 (3%)。斜长石自形板状, 发育聚片双晶和卡钠复合双晶。常见钾长石化、钠长石化、硅化、绢云母化

表 1 铜陵凤凰山岩体花岗岩类锆石 SHRIMP II 分析结果

Table 1 Granite zircon SHRIMP II analysis results of Fenghuangshan pluton in Tongling area

点号	<sup>206</sup> Pb <sub>c</sub> (%)	U (10 <sup>-6</sup> )	Th (10 <sup>-6</sup> )	<sup>232</sup> Th/ <sup>238</sup> U	<sup>206</sup> Pb* (10 <sup>-6</sup> )	<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb	±%	<sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U	±%	<sup>207</sup> Pb/ <sup>235</sup> U	±%	<sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U (Ma)	±1σ	<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb (Ma)	±1σ
1.1	1.38	416.20	235.47	0.58	8.14	0.0475	3.2	0.1458	3.8	0.02225	0.6	141.9	3.4	193.4	217
1.2	1.20	345.62	178.45	0.53	7.00	0.0501	4.7	0.1588	5.1	0.02300	0.4	146.6	3.5	380.9	217
2.1	0.40	141.68	172.88	1.26	15.29	0.0564	2.1	0.957	3.0	0.1230	0.7	747.5	19.0	849.5	83
3.1	1.59	367.95	255.70	0.72	7.39	0.0518	3.1	0.1640	3.8	0.02296	0.6	146.4	3.6	92.7	284
4.1	0.78	381.35	283.59	0.77	7.56	0.0502	5.9	0.1569	6.3	0.02267	0.3	144.6	3.6	320.2	227
5.1	2.95	222.13	146.10	0.68	4.17	0.0484	13	0.139	13	0.02079	0.2	132.7	3.6	411.6	553
6.1	2.27	231.64	117.70	0.53	4.64	0.0514	11	0.160	11	0.02253	0.2	143.7	3.6	312.6	440
7.1	1.25	538.10	476.86	0.92	11.55	0.0413	6.6	0.1389	6.9	0.02438	0.3	155.3	3.9	74.4	321
8.1	1.09	381.61	120.06	0.33	7.41	0.0544	7.4	0.166	7.7	0.02214	0.3	141.2	3.2	474.4	246
9.1	1.86	45.24	43.00	0.98	5.17	0.0537	9.4	0.934	9.7	0.1260	0.2	764.2	22.1	1071.3	199
10.1	0.11	440.28	118.29	0.28	76.61	0.1622	0.69	4.499	2.1	0.2011	0.9	1181.2	22.5	2515	13
11.1	0.29	665.62	376.70	0.58	13.61	0.0455	2.5	0.1473	3.2	0.02347	0.6	149.6	3.4	254.6	100
12.1	0.73	309.76	161.65	0.54	6.03	0.0455	5.5	0.1387	5.9	0.02210	0.4	141.0	3.4	333.7	190
13.1	2.61	210.90	169.44	0.83	4.01	0.0488	18	0.141	18	0.02093	0.1	133.6	4.2	678.1	494
14.1	0.49	859.46	564.09	0.68	16.85	0.0464	2.3	0.1441	3.1	0.02252	0.7	143.6	3.3	211.7	71

<sup>206</sup>Pb<sub>c</sub> 代表普通铅;Pb\* 代表放射成因 Pb.

以及碳酸盐化. 岩体边缘分布有围岩捕虏体、镁铁岩质包体以及微晶暗色闪长岩质包体.

## 2 样品分析方法

样号为 TL02047 的锆石是从取自岩体内部的新鲜花岗闪长岩中分离出来的. 分离锆石主要采用常规的重液浮选及电磁方法. 然后在双目镜下挑选出晶形和透明度较好的锆石颗粒, 与标准锆石 TEM (年龄为 417 Ma) 一起在小平台上用环氧树脂固定, 磨光至一半, 再进行反射光和透射光照相, 并在表面镀金, 最后利用阴极发光扫描电镜进行图像分析. 反射光和透射光照像是在中国地质科学院矿产资源研究所完成的, 阴极发光是在中国科学院地质与地球物理研究所完成的. 样品中锆石颗粒大小为 170~30 μm, 大部分锆石形态均出现 (301) 锥形. 形成这种形态锆石的物理化学条件与岩浆演化过程中碱性花岗岩类岩浆的特征非常相似 (Vavra, 1994). 这种类型的岩浆岩较自形, 锆石环带发育, 呈现典型的岩浆锆石特征 (图 2). 锆石的结晶温度区间为 800~650 °C. 一部分棱角清晰的锆石中包含色调具明显差别的核: 一种核边缘较圆化, 另一种核棱角清晰, 和新生结晶锆石环带呈渐过渡关系, 这些核可能代表了早期岩浆锆石或继承了古老地层的沉积锆石. 但要区分它们是岩浆源区锆石还是岩浆上升过程中从围岩捕获的锆石还需要进一步的研究. 锆石中含

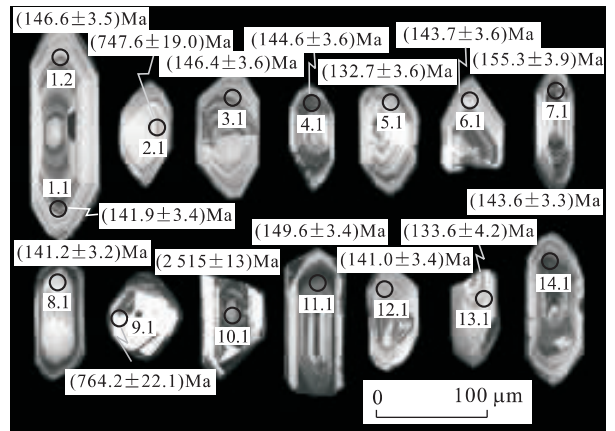


图 2 凤凰山岩体锆石形态特征及 SHRIMP 测试结果  
Fig. 2 Characteristics of zircon shape and SHRIMP testing data

有少量的包裹体, 晶体中有部分裂纹. 单个锆石样品的定年分析是利用中国地质科学院地质研究所安装的高分辨率探针 SHRIMP II 型机器完成的, 操作方法见文献 (宋彪等, 2002). 利用 SL13 (572 Ma) 进行初始校正, 以后每完成 3 个点的测量进行一次 TEM (417 Ma) 标准样的测量校对.

## 3 分析结果

15 个分析点的测量结果见表 1. 从表中可知, 锆石中 U 含量大部分较高  $200 \times 10^{-6} \sim 700 \times 10^{-6}$ , <sup>232</sup>Th/<sup>238</sup>U 比值在 0.28~1.26. 这 15 个分析点数据可分为 3 类: 9 个数据点在 141~149 Ma, 其

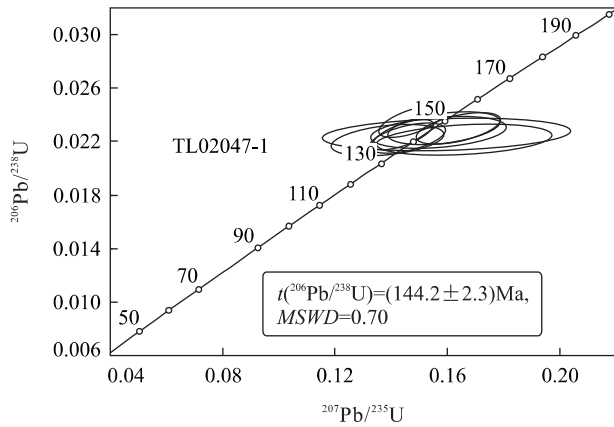


图 3 铜陵凤凰山岩体锆石一致性曲线图

Fig. 3 Zircon U-Pb SHRIMP dating concordia diagram of Fenghuangshan pluton

$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  加权平均值为  $(144.2 \pm 2.3)\text{Ma}$  (可信度达 95%), 它们在一致性曲线中成群分布 (图 3), 可以解释为侵入岩浆的侵位年龄。另有 3 个数据点  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  年龄分别为  $(132.7 \pm 3.6)\text{Ma}$ 、 $(133.6 \pm 4.2)\text{Ma}$ 、 $(155.3 \pm 3.9)\text{Ma}$ , 和  $(144.2 \pm 2.3)\text{Ma}$  年龄值相近, 可能与测试过程中分析点受老核或后期裂隙影响有关。有 3 个点的  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  年龄值较高, 分别为  $(747.5 \pm 19.0)\text{Ma}$ 、 $(764.2 \pm 22.1)\text{Ma}$ 、 $(2515 \pm 13)\text{Ma}$ , 主要分布在锆石中的核上, 核环带也较清晰。在一致性曲线上主要数据点同在曲线上, 显示出新老锆石可能有同一来源, 可以解释为岩浆在侵位上升过程中继承了早期岩浆作用形成的锆石, 代表了早期岩浆作用的年代。

## 4 讨论

### 4.1 凤凰山岩体的形成时代

铜陵矿集区广泛分布有一系列中生代以来的中酸性岩体, 侵入岩有 2 个系列: 橄榄安粗岩系列和高钾钙碱性系列 (Wu *et al.*, 2000)。高钾钙碱性系列岩体  $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$  年龄变化于 139.8~133.6 Ma 之间, 花岗闪长岩、石英闪长岩年龄分别为 139.8~137.0 Ma、137.0~135.8 Ma (Wu *et al.*, 2000)。凤凰山岩体属高钾钙碱性系列侵入体, 根据精确锆石 SHRIMP 测年结果, U-Pb 年龄值为  $(144.2 \pm 2.3)\text{Ma}$ 。考虑到 Ar-Ar 年龄为岩体冷却至 Ar 封闭温度的年龄值, 锆石 U-Pb 年龄值更清楚地反映了凤凰山岩体的形成年龄。前人对凤凰山岩体的研究也取得了一些同位素年龄数据 (Wu *et al.*, 2000):

126 Ma、131 Ma、133 Ma 都是黑云母 K-Ar 数据, 相对于锆石 U-Pb 年龄都偏低。因此 SHRIMP U-Pb 年龄说明凤凰山岩体应是晚侏罗世形成的。

### 4.2 凤凰山岩体侵位构造变形特征

**4.2.1 岩体接触带构造变形特征** 由于热软化作用的影响, 凤凰山岩体接触带构造分布在岩体周围接触变质晕内, 但岩体两侧韧性剪切带规模超过了变质晕范围。接触带主要构造样式有围岩地层陡立、韧性剪切带、流变褶皱等 (图 4)。其特征表明岩体侵位受控于区域左旋剪切应力场作用, 岩体的旋转运动占主导地位, 表现为螺旋式左旋强力上升特征。

(1) 接触带围岩陡立地层: 由于岩体侵位推挤,

岩体周围的三叠纪地层因此而变陡。离岩体越近, 倾角高陡, 形成一倾向岩体的弧形挠曲带, 倾角从  $20^\circ$  变成近  $90^\circ$  左右; (2) 韧性剪切带: 东西两侧的韧性剪切带和区域性的 NNE 向断裂带协调一致, 为密集的流程理, 倾角较陡, 并强烈置换层理。变形岩石表现为钙质糜棱岩 (图 4A)。流劈理一般在岩体边缘最发育, 远离岩体消失。宏微观构造反映韧性剪切带具左旋剪切特征 (图 5B, 5C); (3) 褶皱: 靠近岩体一侧发育流变褶皱, 外侧发育尖棱褶皱。木莲冲、宝山陶一带三叠纪灰岩中流变褶皱轴面和层面所夹锐角方向指示了右旋剪切 (图 5D); 岩体西南部褶皱轴面

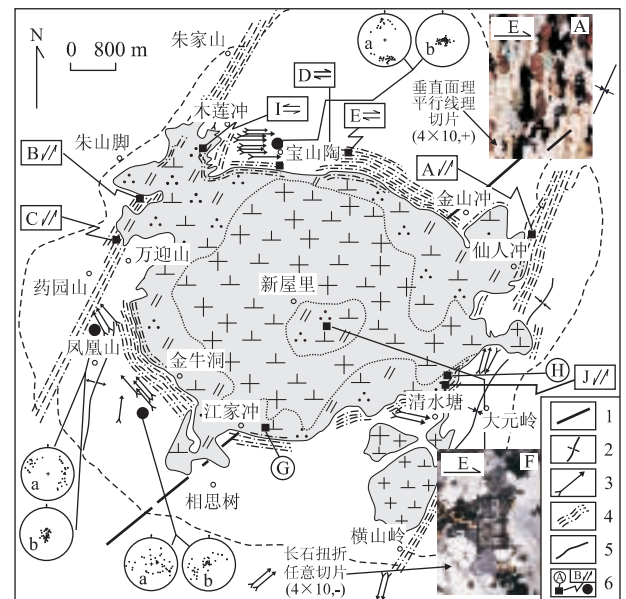


图 4 凤凰山岩体接触带及内部构造

Fig. 4 Structures of contact belt and inside of Fenghuangshan pluton

1. 大型褶皱; 2. 中型背向斜轴迹; 3. 流变褶皱枢纽; 4. 韧性剪切带; 5. 断裂; 6. 照片位置和剪切方向

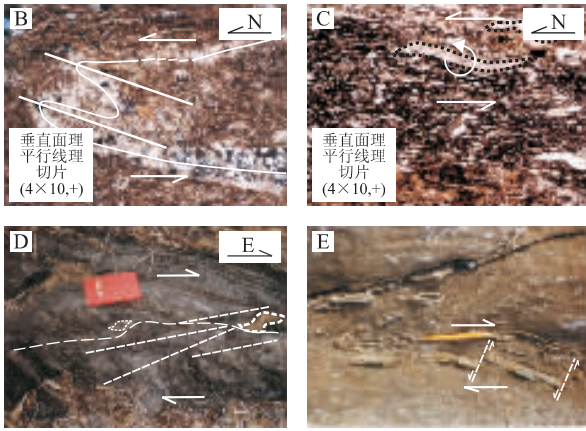


图 5 铜陵凤凰山岩体接触带构造变形样式(相应位置见图 4)  
Fig. 5 Contact structural deformation in the Fenghuangshan pluton

倾角较大,枢纽近直立.轴面和岩层所夹锐角指示右旋剪切,为岩体膨胀侧压及左旋上升的复合作用于围岩地层所致.递进变形造成了围岩中强硬层剪切拉断形成石香肠构造(图 5E).药园山一带存在 2 组类型的流变褶皱:一组枢纽较缓,另一组枢纽较陡.褶皱要素测量数据在吴氏网上投影(图 4),显示轴面倾角和枢纽倾伏角均较大;(4)接触带岩层的水平缩短作用:选择接触带岩层中的褶皱、压溶缝合线作为计算围岩缩短量的标志物.围岩缩短量平均为 39.7%,说明岩体侵位是通过围岩缩短作用而产生强力侵位.

4.2.2 岩体内部构造变形特征 (1)实测线理和面理:面理主要为黑云母等暗色矿物及变形包体的扁

平面;线理构造包括长条状角闪石、变形包体的长轴等.凤凰山岩体面理(图 6a)及线理(图 6b)主要集中在岩体边缘部位.面理较陡,一般倾角在  $70^{\circ}\sim 90^{\circ}$ ,倾向围岩;走向和岩体边界基本一致.线理倾伏角平缓,为  $0^{\circ}\sim 15^{\circ}$ ;走向和岩体边缘一致.

(2)岩体的磁组构特征:凤凰山岩体的磁组构测定结果表明磁线性和磁面理与野外实测组构特征基本相似,大多平行于岩体接触带分布.

4.2.3 显微构造变形 主要表现在造岩矿物如斜长石扭折(图 4F)、石英变形纹、斜长石砂钟(图 7G)、角闪石(图 7H)及黑云母等矿物发生晶内变形;长英质岩石具条带状构造,并形成 S-C 组构(图 7I);糜棱结构明显,斑晶旋转(图 7J),反映左旋剪切特征.

4.2.4 应变特征 岩体中存在的富铁镁质的微粒包体,能提供岩体的应变信息(Wu *et al.*, 2004).岩体内包体形态的几何平均值的计算表明自边缘到中心,包体的形态几何平均值变小.岩体东西两侧附近出现了 2 个高值,说明岩体在韧性剪切带附近变形程度增大. $R_f/\varphi$  法所得出的应变值在岩体边缘较高,远离边缘逐渐降低,应变值具分带性.

4.3 凤凰山岩体侵位动力学环境

近年来,不少学者陆续研究了在剪切带环境下花岗岩体侵位变形实例,如 Steenken *et al.* (2001); Sérgio *et al.* (2003); Tomazzoli *et al.* (2003)等.研究表明区域剪切作用可能导致花岗岩体的形成、上升和侵位.

4.3.1 岩体侵位机制 凤凰山岩体面理、线理主要

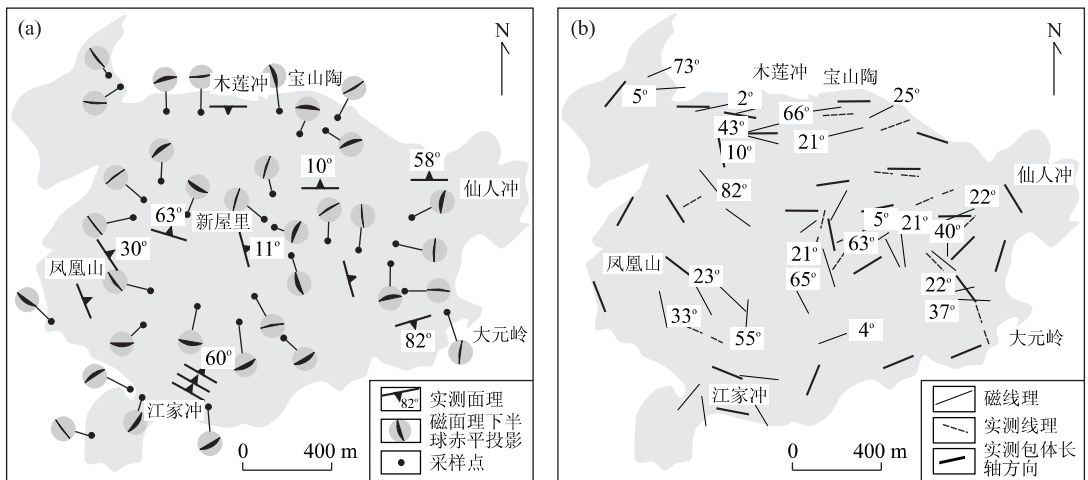


图 6 铜陵凤凰山岩体线理及面理构造分布

Fig. 6 Distribution of lineation and foliation in Fenghuangshan pluton

a. 实测面理及磁面理图; b. 实测包体、线理及磁线理图

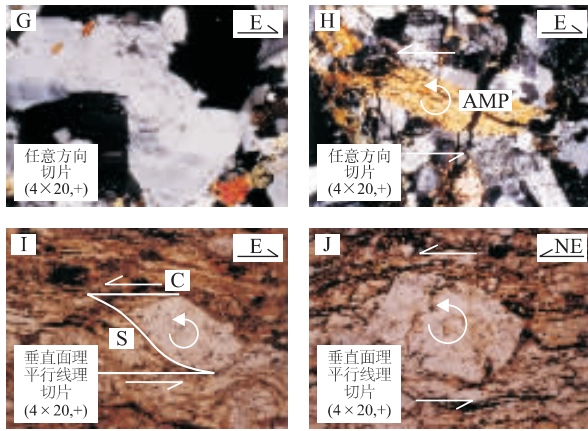


图 7 铜陵凤凰山岩体内部构造变形样式(相应位置见图 4)  
Fig. 7 Inner structural deformation in the Fenghuangshan pluton

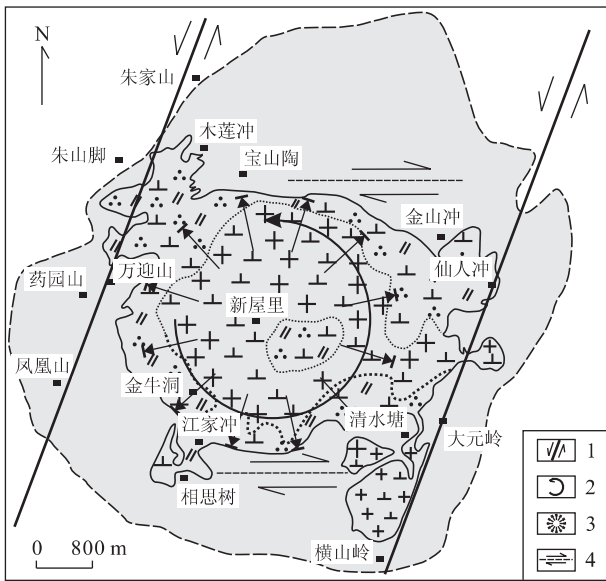


图 8 凤凰山岩体侵位动力学模式

Fig. 8 Emplacement dynamic mechanism of the Fenghuangshan pluton

1. 左旋韧性剪切带; 2. 岩体左旋上升方向; 3. 气球膨胀; 4. 岩体南北边缘右旋剪切变形方向

集中在岩体边缘,由暗色矿物及包体定向排列组成,反映出边缘挤压变形强烈。岩体及接触带中面理、线理和岩体边界在走向上一致,是岩体整合侵位的表现;线理较平缓,边缘面理较陡,围岩水平缩短强烈,并发育石香肠及陡立地层,均显示出岩体侵位过程中的挤压膨胀作用。岩体和围岩韧性剪切带性质及流变褶皱特征反映岩体侵位和围岩变形同受 NNE 向左旋剪切应力场控制。而褶皱的枢纽较陡反映岩体旋转上侵的就位机制。因此岩体内部和接触带构造变形特征表明凤凰山岩体主要受 NNE 向左旋剪切应

力场作用而呈现螺旋上升的气球膨胀侵位(图 8)。

4.3.2 侵位动力学环境讨论 印支早期古太平洋板块开始向北斜向俯冲,在长江中下游地区形成左旋剪切应力场。导致北东向构造叠加于东西向早期构造之上或受早期东西向构造所控制,“S”状褶皱就是在这种背景形成的。中侏罗世开始,长江中下游地区构造域发生转换,岩石圈与软流圈之间存在强烈的构造拆离面导致铜陵地区在 140~150 Ma 发生底侵作用和形成原始碱性玄武岩浆。存在于铜陵矿集区东部边界的代家汇—麻桥 NNE 向断裂带在区域左旋剪切应力场及大规模层圈拆离作用共同作用下,深切壳幔边界导致玄武岩浆的上侵。位于壳幔边界以上的深变质岩系及浅变质岩系是一段范围较广的粘塑性向脆脆性变形过渡的地带,深部岩浆受深变质作用强烈的同化混染形成高钾钙碱性中酸性岩,并定位于深变质岩分界面附近的构造拆离带上,形成深部岩浆房。在左旋剪切构造环境的进一步驱动下,岩浆上升到上地壳基底与盖层之间拆离滑脱面上,形成浅部岩浆房。大约在 144.2 Ma 左右岩浆房上面密度较小的花岗闪长岩—石英二长岩岩浆上侵,形成凤凰山花岗闪长岩和石英二长岩岩体。岩浆房内高温高压的牛顿体岩浆在左旋剪切应力场作用下,顺着重新活动的近 EW 张性断裂呈螺旋式上升到地壳浅部。由于岩浆热能的释放,在围岩中造成一热软弱带,在左旋剪切应力场及侵位应力场联合作用下形成一系列压扁拉长的糜棱岩带及倾直流变褶皱。岩体内部由于温压降低,矿物不断结晶而形成宾厄母体。岩体在横向推挤作用下发生膨胀,使造岩矿物如石英、长石、云母发生晶内变形,包体定向排列,并在岩体边缘形成糜棱岩带,直至岩浆最终冷凝,岩体侵位全过程结束。

## References

- Acocella, V., Rossetti, F., 2002. The role of extensional tectonics at different crustal levels on granite ascent and emplacement: An example from Tuscany (Italy). *Tectonophysics*, 354(1-2): 71-83.
- Duguet, M., Faure, M., 2004. Granitoid emplacement during a thrusting event: Structural analysis, microstructure and quartz c-axis patterns. An example from Hercynian plutons in the French Massif Central. *Journal of Structural Geology*, 26(5): 927-945.
- Li, D. X., 1999. Intraplate transpressional orogenic mechanism. *Earth Science Frontiers*, 6(4): 317-322 (in Chi-

nese with English abstract).

Sérgio, P. N. , Araújo, A. M. B. , Correia, P. B. , et al. , 2003. Magnetic fabrics in the Cabanas granite (NE Brazil): Interplay between emplacement and regional fabrics in a dextral transpressive regime. *Journal of Structural Geology*, 25(3): 441-453.

Song, B. , Zhang, Y. H. , Wan, Y. S. , et al. , 2002. Mount making and procedure of the SHRIMP dating. *Geological Review*, 48 (Suppl. ): 26-30 (in Chinese with English abstract).

Steenken, A. , Siegesmund, S. , Heinrichs, T. , 2001. The emplacement of the Rieserferner pluton (Eastern Alps, Tyrol): Constraints from field observations, magnetic fabrics and microstructures. *Journal of Structural Geology*, 23(12): 1825-2036.

Tomezzoli, R. N. , MacDonald, W. D. , Tickyj, H. , 2003. Composite magnetic fabrics and S-C structure in granitic gneiss of Cerro de los Viejos, La Pampa Province, Argentina. *Journal of Structural Geology*, 25(2): 159-169.

Vavra, G. , 1994. Systematics of internal zircon morphology in major Variscan granitoid types. *Contrib. Mineral. Petrol.* , 117(4): 331-344.

Vernon, R. H. , Collins, W. J. , 1988. Igneous microstructures in migmatites. *Geology*, 16: 1126-1129.

Wu, C. L. , Wang, F. S. , Hao, M. Y. , et al. , 2000. Geochronology of intermediate-acid intrusive rocks from Tongling, Anhui. *Continental Dynamics*, 5(1): 15-23.

Wu, G. G. , Zhang, D. , Li, D. X. , et al. , 2004. Study of the emplacement mechanism of the Fenghuangshan granite pluton and related Cu-Au mineralization in Tongling, Anhui Province. *Acta Geologica Sinica*, 78(2): 492-502.

Wu, G. G. , Zhang, D. , Zang, W. S. , 2003. Study of tectonic layering motion and layering mineralization in the Tongling metallogenic cluster. *Science in China (Series D)*, 46(8): 852-863.

Zhou, T. X. , Chen, J. F. , Li, X. P. , 1988. Discussion of magma activity in Indo-China. *Acta Petrologica Sinica*, 4(3): 46-53 (in Chinese with English abstract).

### 附中文参考文献

李东旭, 1999. 板内扭压造山机制. *地学前缘*, 6(4): 317-322.

宋彪, 张玉海, 万渝生, 等, 2002. 锆石 SHRIMP 样品靶制作、年龄测定及有关现象讨论. *地质论评*, 48(增刊): 26-30.

周泰禧, 陈江峰, 李学朋, 1988. 安徽省印支期岩浆活动质疑. *岩石学报*, 4(3): 46-53.

\*\*\*\*\*

(上接 822 页)

徐贵忠, 周瑞, 闫臻, 等, 2001. 论胶东地区中生代岩石圈减薄的证据及其动力学机制. *大地构造与成矿学*, 25(4): 368-380.

许志琴, 张建新, 徐惠芬, 1997. 中国主要大陆山链韧性剪切带及动力学. 北京: 地质出版社, 1-246.

杨天南, 徐惠芬, 宋明春, 等, 1997. 胶南地块的隆升—伸展构造. *山东地质*, 13(1): 67-76.

杨文采, 程振炎, 陈国九, 等, 1999. 苏鲁超高压变质带北部地球物理调查( I )——深反射地震. *地球物理学报*, 42

(1): 41-52.

杨文采, 程振炎, 张春贺, 2003. 中国科学深钻选址地球物理调查与大别—苏鲁岩石圈. *地球学报*, 24(5): 391-404.

张国伟, 孟庆任, 刘少峰, 等, 1997. 华北地块南部巨型陆内俯冲带与秦岭造山带岩石圈现今三维结构. *高校地质学报*, 3(2): 129-143.

张建新, 杨天南, 许志琴, 等, 1997. 胶南地区的伸展作用——以胶南诸城一带为例. *地球学报*, 18(2): 122-128.