

庐山“星子变质核杂岩”中 伟晶岩锆石 U—Pb 年龄及其地质意义

李武显^{1,2}, 周新民², 李献华¹, 谢国刚³, 李均辉³

(1. 中国科学院广州地球化学研究所, 广东广州 510640; 2. 南京大学地球科学系, 江苏南京 210093;
3. 江西省地质调查院, 江西向塘 330201)

摘要: 赣北庐山地区出露的“星子变质核杂岩”是中国东南部迄今为止发现的较为典型的科迪勒拉型变质核杂岩之一。该变质核杂岩核部见有大量的, 与拆离断层同时形成并侵入于构造弱带的伟晶岩脉。通过锆石 U—Pb 法定年, 获得伟晶岩的年龄为 (127 ± 2) Ma, 该年龄代表了庐山“星子变质核杂岩”的隆升年龄, 并得到其他地质证据的支持。还讨论了形成变质核杂岩的岩石圈伸展作用与同时期中国东南部大规模岩浆活动的时空关系及其可能的联系。

关键词: 隆升年龄; 星子变质核杂岩; 伟晶岩; 庐山。

中图分类号: P59 文献标识码: A

文章编号: 1000-2383(2001)05-0491-05

作者简介: 李武显(1964—), 男, 博士后, 1999 年获南京大学地球科学系岩矿专业博士学位, 现为中国科学院广州地球化学研究所博士后, 主要从事岩石学、岩石地球化学和岩石大地构造研究。

出露在赣北庐山地区的“星子变质核杂岩”是目前中国东南部发现的, 较为典型的科迪勒拉型变质核杂岩之一^[1~3]。它与安徽的洪镇变质核杂岩^[4]、江西的彭山和武功山花岗岩穹隆^[2,5]一起构成了华南内陆一条 NE 向排列的变质核杂岩—花岗岩穹隆带, 类似于北美西部科迪勒拉造山带内的变质核杂岩带^[6]。普遍的观点认为, 变质核杂岩的形成与碰撞造山运动之后的岩石圈伸展减薄作用有关^[5~9]。因此, 变质核杂岩的形成指示了区域性伸展构造背景。确定变质核杂岩隆升时间的最佳方法是测定拆离断层的活动年龄, 主要是依靠 K—Ar 法或 Ar—Ar 法定年。由于 Ar 极易受后期构造影响发生丢失, 或者用于定年的矿物改造不完全而残留过剩的 Ar, 导致定年常常不准, 因此用间接的方法来确定变质核杂岩的隆升时间不失为一个选择。笔者野外工作中发现, 拆离断层面之下发育有大量的花岗伟晶岩脉, 它们有两种产状: (1) 与拆离断层面近平行的倾角平缓的伟晶岩; (2) 陡倾的切过片理的伟晶岩。这些伟晶

岩脉集中发育在变质核杂岩核部花岗岩的顶部和上覆的围岩星子群片岩中, 且绝不穿透拆离断层进入上部盖层中, 表明这些伟晶岩脉是晚期岩浆热液沿平行拆离断层的构造弱带和垂直拆离断层的岩体顶部张裂隙充填形成的。而且, 伟晶岩受构造影响, 局部出现糜棱岩化, 表明它们的形成与变质核杂岩隆升和拆离断层活动是同时的。为此, 笔者选择伟晶岩定年来代表庐山变质核杂岩的隆升时间。

1 地质概况

庐山“星子变质核杂岩”由盖层、拆离断层和变质岩—花岗岩核 3 部分组成(图 1)。盖层自北向南依次为震旦纪碎屑岩建造、新元古代火山—沉积岩系和中元古代双桥山群浅变质岩。它们均以拆离断层与核部星子群呈断层接触, 这种明显的、跨越不同时代地层的断层接触关系是科迪勒拉型变质核杂岩的典型特征之一^[10]。庐山“星子变质核杂岩”由于受后期正断层破坏和第四纪沉积物覆盖, 形态上呈半椭圆形(保留西部)。拆离断层分为东、西 2 条。西面称归宗寺—栖贤寺断层, 它呈弧形环绕变质岩—

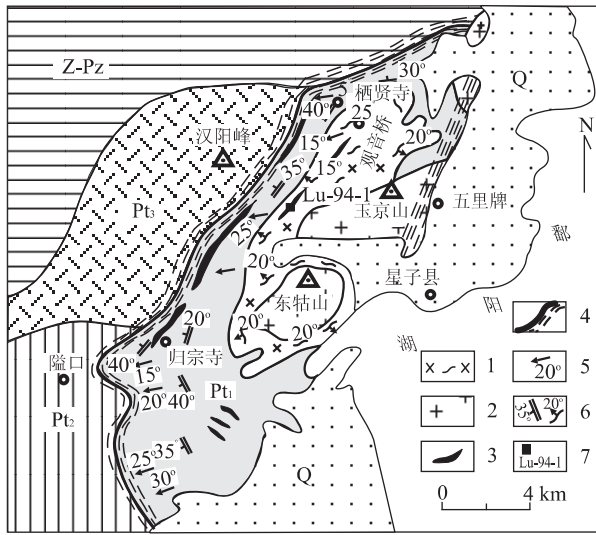


图 1 庐山“星子变质核杂岩”地质简图

Fig. 1 Sketch map of Xingzi metamorphic core complex
 Pt₁. 古元古代星子群片岩夹斜长角闪岩; Pt₂. 中元古代双桥山群浅变质岩; Pt₃. 新元古代火山—沉积岩系; Z—Pz. 震旦系—古生界; Q. 第四系; 1. 片麻状含绿帘石角闪黑云花岗岩; 2. 中生代花岗岩; 3. 伟晶岩脉; 4. 拆离断层及糜棱岩带; 5. 拉伸线理及产状; 6. 片理及片麻理产状; 7. 采样点位置及编号

花岗岩核西部分布, 拆离断层中发育大量的韧性剪切流变现象. 韧性变形的流纹岩中石英脉呈钩状、肠状、逗点状; 韧性变形的变质砾岩普遍压扁拉长; 石榴石片岩中石榴石拖尾形成拉伸线理. 它们的运动学指向均指示拆离断层之上的上盘岩块向西运动^[2, 3]. 变质核东部的拆离断层称为五里牌断层, 它大部分被第四系覆盖, 并被晚期的正断层破坏. 该断层的断层面上擦痕和阶步显示为上盘向东南降落的正断层, 但是残留的韧性变形特征, 如 SC 组构、长石碎斑指向等, 均指示上盘向 NW 方向剪切运动, 表明该断层早期为逆断层, 后期改造为正断层.

变质核杂岩核部由古元古代星子群角闪岩相变质岩和新元古代片麻状角闪黑云花岗岩和中生代花岗岩构成. 星子群主要由含石榴石/十字石/红柱石/云母变粒岩、石英砂岩、石榴石/云母片岩组成, 其中夹有数层以玄武岩为原岩的斜长角闪岩. 变质矿物温压条件计算获得的变质温度和压力分别为 420~580 °C 和 $(5.3 \sim 5.7) \times 10^8$ Pa^[11]. 斜长角闪岩锆石 U—Pb 年龄为 $(1\ 869 \pm 40)$ Ma^[12]. 它是扬子地块东南缘中—新元古代浅变质岩之下的古老基底地层, 也是迄今为止江南古陆上出露的最老地层. 新元古代片麻状含绿帘石角闪黑云花岗岩(锆石 U—Pb 年龄为 (878 ± 51) Ma)^[13] 侵入星子群并被中生代花岗

岩侵入. 岩体中发育环绕岩体向四周倾伏的片麻理, 片麻理倾角平缓 ($< 20^\circ$), 由角闪石和黑云母等暗色矿物定向排列所显示的矿物拉伸线理倾角也较平缓 ($< 20^\circ$), 它与发育在拆离断层附近的拉伸线理一样具有稳定的指向, 指示上盘向 NW 方向运动. 中生代花岗岩包括东牯山岩体, 玉京山岩体, 以及变质核北部的海会岩体. 玉京山岩体的东部和海会岩体的南部受五里牌断层影响, 普遍糜棱岩化. 变质核杂岩核部发育有大量的花岗质伟晶岩脉, 它们侵入星子群片岩, 也侵入新元古代片麻状花岗岩和中生代花岗岩中, 总体上具向拆离断层数量增多的趋势, 但不切穿拆离断层进入盖层中, 表明这些伟晶岩脉是与拆离断层活动同时, 沿平行拆离断层的构造弱带和垂直拆离断层的岩体顶部张裂隙充填形成的, 它们是本次工作用于定年的对象.

2 样品特征及分析结果

Lu-94-1 伟晶岩样品采自东牯山北约 1 500 m 处, 它侵入片麻状花岗岩与星子群变质岩接触带附近的构造薄弱部位. 伟晶岩主要成分为白云母 (15%)、钠长石 (53%) 和石英 (27%), 副矿物为锆石和少量绿柱石. 定年方法选择锆石 U—Pb 法, 锆石的挑选程序为, 手工破碎样品 → 淘洗 → 电磁选 → 过重液 (三溴甲烷) → 获得锆石精矿 → 在双目镜下挑选出尽可能不含包裹体、无裂纹且晶形完好的锆石. 整个选矿过程注意了各个细节, 尽量避免因共用器械造成的污染. 样品分析由国土资源部天津地质矿产研究所同位素室完成, 分析方法见文献^[14]. 锆石特征及分析数据见表 1.

Lu-94-1 伟晶岩中 4 个锆石除 4 号点锆石为无色柱状晶体外, 1, 2, 3 号点均为棕褐色半透明柱状晶体. 1, 2, 3 号点锆石基本落在一致线上 (图 2), 其中 2, 3 号点两组年龄在误差范围内基本一致, 计算的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄平均值为 (127.1 ± 2) Ma, 该年龄值代表了伟晶岩脉形成的年龄. 1 号点锆石 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄为 (136.9 ± 0.4) Ma, 略大于 2, 3 号点锆石年龄, 可能该锆石中包裹有部分残留锆石, 导致年龄偏老. 4 号点锆石无论是晶形、颜色还是 U, Pb 质量分数与另外 3 个点锆石有明显的差异, 低的 U, Pb 质量分数 (分别为 274×10^{-6} 和 21×10^{-6}) 是基性岩中锆石的特征, 明显偏离一致线表明它已经受到后期变质或岩浆事件的影响. 因此, 推测

表 1 庐山“星子变质核杂岩”中伟晶岩的单颗粒锆石 U—Pb 法同位素分析结果

Table 1 Single zircon U—Pb analyses of pegmatite from Xingzi metamorphic core complex of Lushan mountain

点号	特征	m/ μg	$\rho_{\text{B}}/10^{-6}$		普通铅总量/ng	$n(^{206}\text{Pb})/n(^{204}\text{Pb})$	$n(^{208}\text{Pb})/n(^{206}\text{Pb})$	$n(^{206}\text{Pb})/n(^{238}\text{U})$	$n(^{207}\text{Pb})/n(^{235}\text{U})$	$n(^{207}\text{Pb})/n(^{206}\text{Pb})$	表面年龄值/Ma		
			U	Pb							$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$
1	BP	30	9 052	187	0.190	1 314	0.011 84	0.021 47(7)	0.144 9(8)	0.048 94(21)	136.9 ± 0.4	137.4 ± 0.7	145.0 ± 10
2	BP	10	5 329	104	0.034	843	0.013 41	0.019 69(14)	0.131 7(14)	0.048 49(48)	125.7 ± 0.9	125.6 ± 1.3	123 ± 23
3	BP	60	12 467	235	0.200	2 825	0.011 24	0.020 14(7)	0.136 0(5)	0.048 99(8)	128.5 ± 0.4	129.5 ± 0.5	147.4 ± 3.8
4	CP	30	274	21	0.011	2 424	0.148 40	0.071 20(3)	0.620 0(10)	0.063 10(10)	443.4 ± 0.4	489.9 ± 0.6	711.6 ± 3.4

注:① $n(^{206}\text{Pb})/n(^{204}\text{Pb})$ 已对实验空白($m(\text{Pb})=0.05 \text{ ng}, m(\text{U})=0.002 \text{ ng}$)及稀释剂作了校正,其他原子比率中的铅同位素均为放射成因铅同位素。括号内数字为 2σ 绝对误差。BP, 棕褐色柱状晶体;CP, 无色柱状晶体。

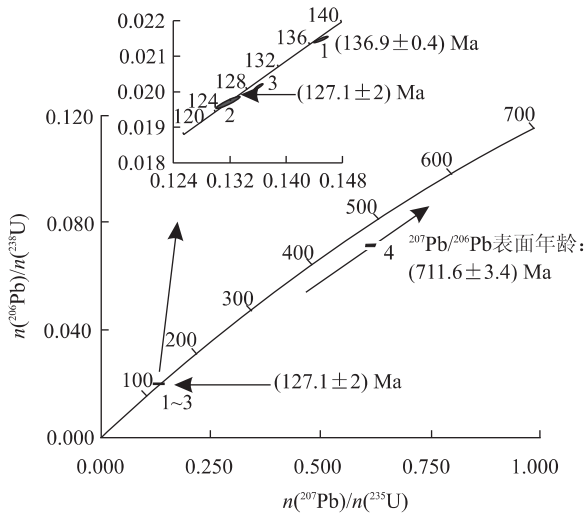


图 2 庐山“星子变质核杂岩”中伟晶岩锆石 U—Pb 法测年谐和图

Fig. 2 Zircon U—Pb concordia diagram of pegmatite from Xingzi metamorphic core complex of Lushan mountain

4 号点锆石可能为捕获的来自基性火成岩的老锆石,但它受到后期的变质或岩浆事件的影响,地质意义尚不清楚。

3 时代讨论及地质意义

3.1 变质核杂岩形成年龄

前述庐山“星子变质核杂岩”中发育的伟晶岩脉的地质产状和野外地质特征均表明,它们是变质核杂岩隆升时,晚期岩浆热液侵入于岩体顶部张裂隙和伸展滑动构造弱带形成的。因此,它们的形成时间与变质核杂岩的隆升时间是同时的。获得的(127.1 ± 2) Ma 的锆石 U—Pb 法年龄,可以代表庐山“星子变质核杂岩”的隆升时间。它也受到以下证据支持:(1)区内沉积盖层中的两套砾石层,即震旦纪碛门组和泥盆纪五通组均未见基性火山岩和变质片岩砾

石,表明新元古代火山岩和星子群变质岩至少在印支期运动之后才抬升出露地表^[3]。(2)整个赣东北地区白垩纪红盆近年来获得了古爬行动物骨骼化石(*Coelurosauria* Fam. et gen. indet, 虚骨龙类, 信江盆地)和恐龙蛋化石(*Oolithes spheroides*, 短圆形蛋, 信江盆地, 修水)确证了赣东北地区红盆的形成不晚于晚白垩世^[15,16]。庐山“星子变质核杂岩”相伴出现的鄱阳湖盆地中虽未发现化石,但是从区域地质和盆地沉积物特征对比,鄱阳湖盆地的形成时代也不应晚于晚白垩世。变质核杂岩与相伴出现的盆地是同一构造事件形成的不同构造产物,它们两者在形成上是孪生兄弟关系,因此“星子变质核杂岩”的形成时间也不应晚于晚白垩世。(3)张海祥等^[17]获得“星子变质核杂岩”北部海会花岗岩和其中的暗色包体的锆石 U—Pb 年龄为 125~130 Ma;(4)庐山变质核杂岩核部星子群斜长角闪岩的锆石 U—Pb 法不一致线下交点年龄值为 (135 ± 17) Ma^[12],它代表了岩石形成之后的一次强烈的构造事件影响,很可能就是与星子变质核杂岩的隆升有关。支持上述推断的更大范围的证据是:①安徽洪镇变质核杂岩中沿拆离断层侵位的月山岩体其 Ar—Ar 年龄为 136 Ma,代表了洪镇变质核杂岩的形成年龄^[18];②舒良树等^[5]获得武功山花岗岩穹隆的伸展年龄有两组,早期为约 230 Ma;晚期为 132 Ma,前者可能代表了印支期的推覆断层形成年龄,后者代表了燕山期伸展年龄;③李献华等^[19]研究粤北指示伸展作用的基性岩墙群时,认为华南燕山期岩石圈伸展作用从约 140 Ma 已经开始。它们与通过伟晶岩确定的庐山“星子变质核杂岩”的隆升时间基本一致。

上述地质和同位素年代学证据均表明,庐山“变质核杂岩”核部发育的伟晶岩的形成年龄,可以代表变质核杂岩的隆升时间。华南内陆变质核杂岩—花岗岩穹隆带中不同变质核杂岩和花岗岩穹隆在形成

时间上基本一致,表明约 130 Ma 时华南内陆存在一条 NE 走向的岩石圈伸展减薄区。

3.2 地质意义

庐山“星子变质核杂岩”的隆升时间与华南内陆变质核杂岩—花岗岩穹隆带中其他变质核杂岩和花岗岩穹隆形成时间一致,表明存在区域范围的岩石圈伸展减薄。一个有趣的现象是同时期中国东南部发生了大规模的钙碱性岩浆活动,这期岩浆活动的成因,是目前争论的热点之一^[20~24]。岩石圈伸展减薄诱发岩石圈地幔部分熔融,形成大规模的岩浆活动是北美西部盆岭省新生代岩浆作用的主要原因^[25~27]。这种机制下形成岩浆的一个很重要的因素是岩石圈的快速伸展,造成岩石圈地幔由于快速隆升而绝热减压抬升,它可以使岩石圈地幔橄榄岩部分熔融形成岩浆岩。显然,伸展中心是这类岩浆活动最强烈的地区,也是变质核杂岩—花岗岩穹隆最发育的地区。如北美西部的科迪勒拉变质核杂岩带就是纵贯盆岭省的中部^[6,28]。然而,中国东南部晚中生代的情况与北美科迪勒拉造山带的情况并不完全相同。事实上,与伸展构造同时期的大规模岩浆活动(140~100 Ma)绝大部分分布在江西东部、浙江、福建和广东的东部,空间上位于华南内陆变质核杂岩—花岗岩穹隆带的东侧。同样,与变质核杂岩—花岗岩穹隆带共生的伸展红盆地也主要分布在江西和湖南东部,它们在空间上与变质核杂岩—花岗岩穹隆是匹配的,而与同时期大规模的岩浆活动不匹配。因此,中国东南部晚中生代大规模岩浆活动的形成,可能与太平洋板块的俯冲作用有关^[24,29],变质核杂岩—花岗岩穹隆带是岩浆弧后的伸展作用形成的。另一种可能是岩浆活动与向东扩展的不对称岩石圈伸展减薄作用有关^[23],变质核杂岩—花岗岩穹隆带指示了早期岩石圈伸展作用位置。

参考文献:

- [1] 项新葵,许建华,马长信. 庐山变质核杂岩构造的初步研究[J]. 华东地质学院学报,1994, 17(1): 11—16.
- [2] 罗庆坤,刘国生,王彪. 庐山—彭山地区伸展构造演化及其对矿产形成的制约[J]. 地质科学,1995, 30(2): 117—129.
- [3] 尹国胜,谢国刚. 江西庐山地区伸展构造与星子变质核杂岩[J]. 中国区域地质,1996, 56: 17—26.
- [4] 李德威. 洪镇变质核杂岩及其成矿意义[J]. 大地构造与成矿学,1993, 17(3): 211—220.
- [5] 舒良树,孙岩,王德滋,等. 华南武功山中生代伸展构造[J]. 中国科学(D辑),1998, 28(5): 431—438.
- [6] Coney P J, Harms T A. Cordilleran metamorphic core complexes: Cenozoic extensional relics of Mesozoic compression [J]. *Geology*, 1984, 12: 550—554.
- [7] Davis G H, Coney P J. Geologic development of the Cordilleran metamorphic core complexes [J]. *Geology*, 1979, 7: 120—124.
- [8] Lister G S, Baldwin S L. Plutonism and the origin of metamorphic core complexes [J]. *Geology*, 1993, 21: 607—610.
- [9] Faure M, Sun Y, Shu L S, et al. Extensional tectonics within a subduction-type orogen: the case study of the Wugongshan dome (Jiangxi Province, southeastern China) [J]. *Tectonophysics*, 1996, 263: 77—106.
- [10] Coney P J. Cordilleran metamorphic core complexes: an overview [J]. *Geol Soc Am Mem*, 1982, 153: 7—31.
- [11] 王凯怡,程海,叶瑛. 星子杂岩——有关变质作用的 pT 条件及大地构造背景的初步研究[A]. 见:李继亮. 中国东南海陆岩石圈结构与演化研究[C]. 北京:中国科学技术出版社,1992. 133—139.
- [12] 谢国刚,李均辉,李武显,等. 庐山前震旦纪岩石中锆石 U—Pb 法定年与其地质意义[J]. 地质科学,1997, 32(1): 110—115.
- [13] 李武显,徐夕生,周新民,等. 庐山“星子杂岩”中绿帘石花岗岩的定年和成因[J]. 地质论评,1998, 44(2): 143—148.
- [14] 李惠民,董传万,徐夕生,等. 泉州辉长岩中单粒锆石 U—Pb 法定年——闽东南基性岩浆岩的起源[J]. 科学通报,1995, 40(2): 158—160.
- [15] 熊兴武. 赣西北地区恐龙化石的发现及其地质意义[J]. 地质科技情报,1995, 14(2): 104.
- [16] 张志,樊光明,薛重生,等. 赣东北白垩纪红层中首次发现虚骨龙类化石[J]. 地质科技情报,1996, 15(1): 49.
- [17] 张海祥,朱炳泉,涂湘林,等. 庐山“星子变质核杂岩”中海会花岗岩的锆石 U—Pb 年龄及大地构造意义[J]. 矿物岩石,1999, 19(3): 69—72.
- [18] 邢凤鸣,徐祥,李志昌. 长江中下游早元古代基底的发现及地质意义[J]. 科学通报,1993, 38(20): 1883—1886.
- [19] 李献华,胡瑞忠,饶冰. 粤北白垩纪基性岩脉的年代学和地球化学[J]. 地球化学,1997, 26(2): 14—31.
- [20] Jahn B M, Zhou X H, Li J L. Formation and tectonic evolution of southeastern China and Taiwan: isotopic and geochemical constraints [J]. *Tectonophysics*, 1990, 183: 145—160.
- [21] Lapierre H, Jahn B M, Charvet J, et al. Mesozoic fel-

- sic arc magmatism and continental olivine tholeiites in Zhejiang Province and their relationship with the tectonic activity in southeastern China [J]. *Tectonophysics*, 1997, 274: 321-338.
- [22] 毛建仁,陶奎元,杨祝良,等. 中国东南部中生代陆内岩浆作用的动力学背景[J]. *火山地质与矿产*, 1997, 18(2): 95-103.
- [23] Li X H. Cretaceous magmatism and lithospheric extension in Southeast China [J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2000, 18: 293-305.
- [24] 周新民,李武显. 中国东南部晚中生代火成岩成因: 岩石圈消减和玄武岩底侵相结合的模式[J]. *自然科学进展*, 2000, 10(3): 240-247.
- [25] Harry D L, Sawyer D S, Leeman W P. The mechanics of continental extension in weastern North America: implication for the magmatic and structural evolution of the Great basin [J]. *Earth Planet Sci Lett*, 1993, 117: 59-71.
- [26] Harry D L, Leeman W P. Partial melting of melt metasomatized subcontinental mantle and the magma source potential of the lower lithosphere [J]. *J Geophy Res*, 1995, 100(B7): 10255-10269.
- [27] Hawkesworth C, Turner S, Gallagher K, et al. Calc-alkaline magmatism, lithospheric thinning and extension in the basin and range [J]. *J Geophy Res*, 1995, 100(B7): 10271-10286.
- [28] Armstrong R L. Cordilleran metamorphic core complexes — from Arizona to Southern Canada [J]. *Ann Rev Earth Planet Sci*, 1982, 10: 129-154.
- [29] 李武显,周新民. 中国东南部晚中生代俯冲带探索[J]. *高校地质学报*, 1999, 5(2): 164-169.

ZIRCON U-Pb DATING OF PEGMATITE FROM XINGZI METAMORPHIC CORE COMPLEX OF LUSHAN MOUNTAIN AND ITS GEOLOGICAL IMPLICATION

Li Wuxian^{1,2}, Zhou Xinmin², Li Xianhua¹, Xie Guogang³, Li Junhui³

(1. *Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, China*; 2. *Department of Earth Science, Nanjing University, Nanjing 210093, China*; 3. *Jiangxi Geological Investigation Party, Xiangtang 330201, China*)

Abstract: “Xingzi metamorphic core complex” exposed in the Lushan mountain of northern Jiangxi Province is a typical Cordilleran-type metamorphic core complex so far discovered in southeastern China. Numerous pegmatites intruded in the structural weak zone were present in the core of “Xingzi metamorphic core complex”, which is contemporaneous with the detachment fault. Zircon U-Pb dating age of the pegmatite is 130 Ma, representing the uplift age of the complex, which is supported by other geological evidences. The possible spatial and temporal links, furthermore, between the complex formation and contemporary extensive Late Mesozoic magmatism in southeastern China are discussed in this paper.

Key words: uplift age; Xingzi metamorphic core complex; pegmatite; Lushan mountain.