

蚌埠荆山“混合花岗岩”SHRIMP锆石 U-Pb定年及其地质意义*

许文良^{①**} 王清海^① 杨德彬^① 刘晓春^② 郭敬辉^③

(① 吉林大学地球科学学院, 长春 130061; ② 中国地质科学院地质力学研究所, 北京 100081; ③ 中国科学院地质与地球物理研究所, 北京 100029)

摘要 蚌埠荆山“混合花岗岩”的岩相学特征和岩浆锆石的存在表明该“混合花岗岩”为岩浆成因。花岗岩中锆石均具有继承锆石核和岩浆锆石振荡环带边。锆石 SHRIMP U-Pb 定年结果表明, 岩浆锆石的 SHRIMP U-Pb 年龄显示该花岗岩形成于 160.2 ± 1.3 Ma, 并且其形成可能与三叠纪超高压碰撞后岩石圈地幔和/或下地壳的拆沉有关; 大多数继承锆石形成于 217.1 ± 6.6 Ma, 这与大别-苏鲁造山带中超高压变质的峰期年龄相吻合; 部分继承锆石(年龄介于 433~722 Ma 之间)构成了上交点为 $850 \pm 85/-68$ Ma, 下交点为 $260 \pm 100/-140$ Ma 的不一致年龄线。这意味着荆山花岗岩起源于经历超高压变质作用改造的华南地块地壳物质的部分熔融。220 Ma 的超高压变质作用是引起继承锆石 Pb 丢失的重要原因。

关键词 锆石 U-Pb 定年 混合花岗岩 蚌埠

大别-苏鲁超高压变质带是近年来国内外地质学家研究的热点地区之一。大别造山带、郯庐断裂带和苏鲁造山带构成了中国东部时空上密切相关的巨型构造带^[1]。目前, 多数地质学家认为大别-苏鲁为同一条超高压变质带, 并由华北地块与华南地块于三叠纪碰撞所形成, 该带被郯庐断裂带所断开^[2~8]。然而, 近年来, 对该区震旦纪以来的综合地层对比^[9~12]、构造变形^[13,14]和古地磁研究^[15]以及徐淮地区中生代侵入岩中榴辉岩类包体的发现与研究^[16]并不支持上述观点。大别-苏鲁超高压变质带的深部俯冲方向以及

大别和苏鲁造山带的关系如何? 这是目前大别-苏鲁造山带研究中争论较多的问题之一^[17~22]。为了解决上述问题, 本文报道并讨论了蚌埠隆起区荆山“混合花岗岩”中锆石 SHRIMP U-Pb 定年结果。

1 地质背景与岩体地质

蚌埠隆起位于华北地块的东南部边缘, 东邻郯庐断裂带, 南邻大别造山带北部的合肥盆地, 总体呈东西向带状展布(图 1)。蚌埠隆起主要由太古代五河杂岩组成, 包括变质镁铁质岩系、表壳岩系和变质变

2003-04-21 收稿

* 科学技术部“973”项目(批准号: TG1999075502)、国家自然科学基金(批准号: 40172030)和吉林大学创新基金(编号: 2002CX004)资助

** E-mail: xuwl261@sina.com

形花岗质侵入体. 隆起区内广泛出露有花岗岩体, 1:20 万区域地质调查报告¹⁾和安徽省区域地质志^[23]将其划归为晚太古代蚌埠期, 并认为其成岩作用包括区域混合岩化、花岗岩化.

荆山岩体位于蚌埠隆起的西部(图 1), 岩体侵入的围岩为太古代五河杂岩. 岩体主要由所谓的“混合花岗岩”, 即具有弱片麻状构造的中粗粒含石榴石黑云母花岗岩所组成. 荆山岩体中发育有晚期的闪长斑岩脉和细粒花岗质脉体, 同时可以发现围岩的捕虏体-石榴黑云片岩(图 2(a)). 岩体中的闪长斑岩脉宽 0.5~1.5 m, 其中有花岗岩的捕虏体(图 2(b)). 细粒花岗质脉体与寄主岩的接触处形成了伟晶岩脉体(图 2(c)). 花岗岩具有典型岩浆结晶结构, 矿物粒间长英质细粒矿物的出现应与岩石受后期应力作用有关(图 2(d)). 上述特征表明, 所谓的荆山“混合花岗岩”具典型岩浆成因的特征.

2 样品描述和分析方法

荆山含石榴石花岗岩具有中粗粒花岗结构, 弱

片麻状构造. 主要组成矿物为石英、条纹长石、斜长石和少量黑云母、绿帘石和石榴石. 粗颗粒长英质矿物粒间出现的细小长英质矿物可归因于岩石形成后的构造变形. 岩石中的副矿物为锆石、磷灰石和磁铁矿.

锆石用常规的浮选和电磁选方法进行分选, 然后将其与标准锆石(Temora-417 Ma)一起粘贴在环氧树脂表面, 抛光后将待测锆石进行透射光、反射光、阴极发光和背散射扫描电子显微镜显微照相. 锆石 U-Pb 同位素分析在中国地质科学院地质研究所的 SHRIMP-II 离子探针上用标准测定程序条件进行. 通过对阴极发光或/和背散射图像分析, 选择吸收程度或形态上明显不同的区域进行分析; 束斑为 20~30 μm ; 数据采集在 5 个扫描仪上进行; 普通铅的校正用测定的 ^{204}Pb 进行; 所给定的同位素比值和年龄的误差在 1σ 水平. 分析结果列于表 1.

3 分析结果

部分测定锆石的背散射图像和阴极发光照片如

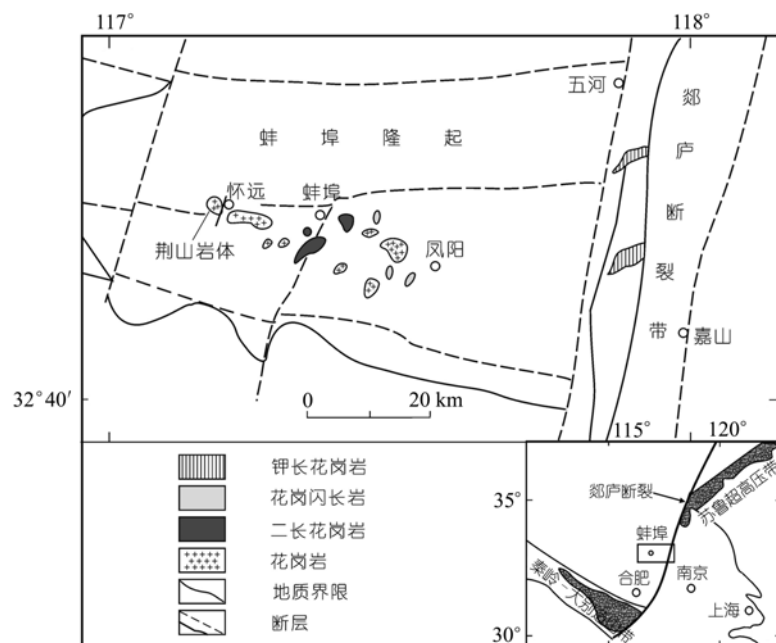


图 1 蚌埠隆起区地质略图

1) 安徽省地质局区域地质调查队. 1:20 万蚌埠幅区域地质调查报告. 1979

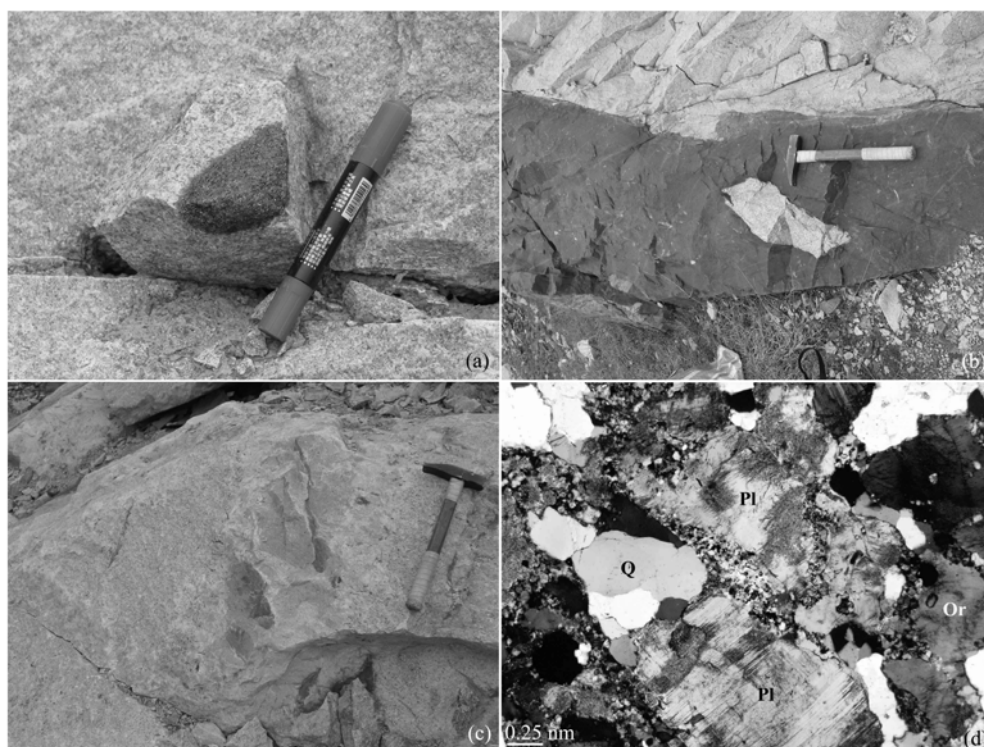


图 2 岩体中的捕虏体和脉岩及岩石结构

(a) 岩体中的围岩捕虏体, (b) 闪长斑岩脉中的花岗岩捕虏体, (c) 花岗岩中的细粒花岗质脉体, (d) 矿物粒间的长英质细粒矿物(正交偏光)

图 3 所示。从图 3 中可以看出, 锆石的内部结构清晰。为了获得不同类型锆石所记载的一个完整年龄谱, 对采自岩体南侧的弱片麻状中粗粒含石榴石黑云母花岗岩中锆石样品(编号 BB4-2)进行了 30 个点的 SHRIMP 分析。所有的 U-Pb 同位素分析数据都标定在图 4 中。

从图 3 可以看出, 大多数锆石具有继承核和细微震荡环带的生长边, 后者表明了岩浆成因的特征^[24]。具有震荡环带生长边的岩浆锆石的分析结果主要集中在谐和线上 158~164 Ma 之间(图 4), $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 的平均年龄值为 160.2 ± 1.3 Ma。该年龄代表了荆山花岗岩的结晶年龄, 这与邱瑞龙等^[25]对其所做的黑

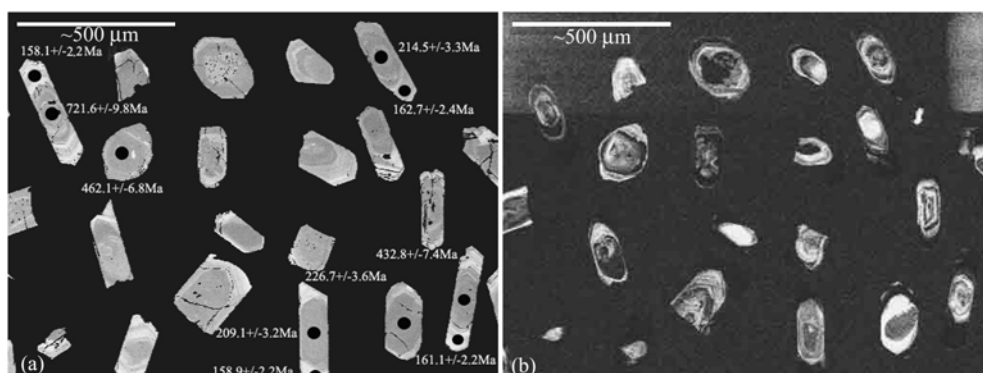


图 3 具有继承核锆石的背散射(a)和阴极发光(b)图像

表 1 荆山花岗岩中锆石SHRIMP U-Pb定年数据^{a)}

样品号	U/ $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$	Th/ $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$	Th/U	²⁰⁶ Pb*/ $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$	同位素比值								年龄/Ma		备注
					²³⁸ U/ ²⁰⁶ Pb	误差 ± (%)	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	误差 ± (%)	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	误差 ± (%)	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	误差 ± (%)	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	误差 ± σ	
BB4-1.1	214	15	0.07	6.30	29.86	1.7	0.0453	9.3	0.209	9.4	0.03349	1.7	212.4	3.5	Core
BB4-1.2	2316	1387	0.62	50.1	39.88	1.4	0.041818	1.7	0.1666	2.3	0.02508	1.4	159.7	2.3	Rim
BB4-2.1	105	51	0.50	9.13	10.03	1.6	0.0655	5.4	0.901	5.7	0.0997	1.6	612.9	9.6	Core
BB4-2.2	2219	169	0.08	48.7	39.28	1.4	0.04934	1.5	0.1732	2.1	0.02546	1.4	162.0	2.2	Rim
BB4-3.1	317	119	0.39	22.3	12.34	1.5	0.0625	2.7	0.698	3.1	0.0810	1.5	502.2	7.2	Core
BB4-3.2	2687	378	0.15	57.4	40.30	1.4	0.04998	1.3	0.1710	1.9	0.02481	1.4	158.0	2.2	Rim
BB4-4.1	345	32	0.10	10.8	27.76	1.5	0.0503	5.1	0.250	5.4	0.03602	1.5	228.1	3.5	Core
BB4-4.2	3444	540	0.16	75.3	39.34	1.4	0.04914	1.1	0.1722	1.8	0.02542	1.4	161.8	2.2	Rim
BB4-5.1	747	71	0.10	17.1	37.80	1.5	0.0493	4.2	0.1797	4.4	0.02645	1.5	168.3	2.5	Rim
BB4-5.2	2798	441	0.16	62.3	38.70	1.4	0.0493	1.4	0.1757	2.0	0.02584	1.4	164.5	2.3	Rim
BB4-6.1	232	88	0.39	14.0	14.40	1.8	0.0624	3.3	0.597	3.8	0.0694	1.8	432.8	7.4	Core
BB4-6.2	2745	491	0.18	59.8	39.51	1.4	0.0498	1.3	0.1738	1.9	0.02531	1.4	161.1	2.2	Rim
BB4-7.1	299	70	0.24	8.54	30.34	1.6	0.0552	5.3	0.251	5.5	0.03296	1.6	209.1	3.2	Core
BB4-7.2	2537	610	0.25	54.5	40.08	1.4	0.04875	1.4	0.1677	2.0	0.02495	1.4	158.9	2.2	Rim
BB4-8.1	331	208	0.65	9.76	29.56	1.6	0.0549	6.7	0.256	6.9	0.03383	1.6	214.5	3.3	Core
BB4-8.2	1363	111	0.08	30.1	39.13	1.5	0.0485	2.1	0.1708	2.6	0.02556	1.5	162.7	2.4	Rim
BB4-9.1	460	306	0.69	47.2	8.44	1.4	0.0784	1.9	1.281	2.4	0.1184	1.4	721.6	9.8	Core
BB4-9.2	2591	408	0.16	55.6	40.27	1.4	0.05148	1.5	0.1763	2.1	0.02483	1.4	158.1	2.2	Rim
BB4-10.1	113	67	0.61	3.98	25.48	1.9	0.0422	18	0.228	18	0.03924	1.9	248.1	4.7	Core
BB4-10.2	2946	527	0.19	62.8	40.39	1.4	0.04921	2.0	0.1680	2.4	0.02476	1.4	157.7	2.2	Rim
BB4-11.1	822	569	0.72	69.4	10.20	1.4	0.06371	0.92	0.861	1.7	0.0980	1.4	602.6	8.0	Core
BB4-12.1	149	95	0.66	14.8	8.70	1.5	0.0669	2.6	1.061	3.1	0.1150	1.5	701.0	10.0	Core
BB4-13.1	459	275	0.62	43.7	9.02	1.4	0.06647	1.1	1.016	1.8	0.1108	1.4	677.5	9.1	Core
BB4-14.1	285	12	0.04	8.16	30.45	1.6	0.0499	6.9	0.226	7.1	0.03284	1.6	208.3	3.2	Core
BB4-15.1	79	3	0.04	2.47	28.44	2.1	0.0528	15	0.256	16	0.03516	2.1	222.7	4.7	Core
BB4-15.2	293	4	0.01	8.82	28.66	1.6	0.0480	5.4	0.231	5.6	0.03489	1.6	221.1	3.4	Core
BB4-15.3	1017	73	0.07	21.8	40.25	1.4	0.0508	3.6	0.1739	3.9	0.02484	1.4	158.2	2.3	Rim
BB4-16.1	245	112	0.47	24.4	8.67	1.5	0.0656	1.8	1.043	2.3	0.1154	1.5	704.0	9.8	Core
BB4-17.1	215	7	0.03	6.75	27.94	1.6	0.0478	8.5	0.236	8.6	0.03579	1.6	226.7	3.6	Core
BB4-18.1	261	95	0.38	16.8	13.46	1.5	0.0618	3.4	0.633	3.7	0.0743	1.5	462.1	6.8	Core

a) Pb*为放射性成因铅。用测定的²⁰⁴Pb校正普通铅。Core, 核部; Rim, 边部

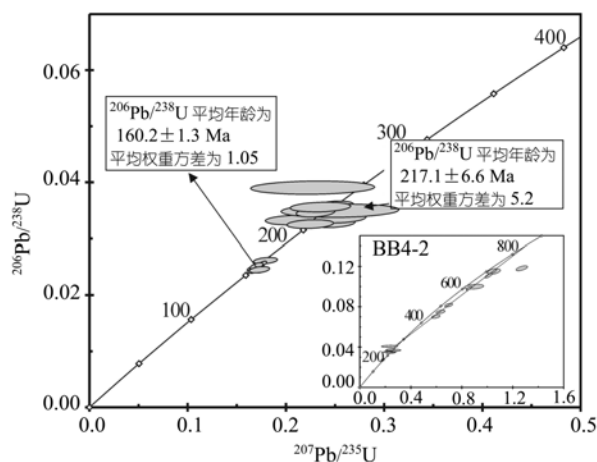


图4 荆山花岗岩锆石(BB4-2)SHRIMP U-Pb 谐和图

云母 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 定年结果(162.8 ± 0.3 Ma)相吻合。

在阴极发光图像上, 继承锆石核因其边缘吸收强比较容易辨认。大多数继承锆石核部的年龄集中在谐和线的 208 ~ 228 Ma 之间, $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄的平均值为 217.1 ± 6.6 Ma (图 4)。此外, 部分继承锆石核部的年龄不在谐和线上, 所测定的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄介于 433 ~ 722 Ma, 它们构成了不一致线, 其上交点年龄为 $850+85/-68$ Ma, 下交点年龄为 $260+100/-140$ Ma (图 4)。前者可解释为源区物质形成的年龄, 而后者因下交点附近数据点较少造成了年龄值误差偏大, 但基本上与大多数继承锆石核部的年龄值 (217.1 ± 6.6 Ma) 相当。这意味着岩浆源区物质在 220 Ma 左右经历了一次重要的 Pb 丢失。

4 讨论与结论

4.1 继承锆石(核部)U-Pb 年龄的地质意义

大别-苏鲁超高压变质带及邻区岩浆岩的研究表明, 在华北和华南地块中, 只有华南地块经历了 700 ~ 850 Ma 之间的大规模地壳生长事件, 尤其是在华南地块的周边地区^{[26~30]1)}。因此, 荆山花岗岩中继承锆石核部不一致年龄线上交点 $850+85/-68$ Ma 的年龄证明该花岗岩应起源于华南地块地壳物质的熔融。

大别-苏鲁超高压变质带形成于印支期 (220 ~ 245 Ma) 已被大多数地质学家所承认^[4~7,31,32]。荆山花岗岩中继承锆石核部不一致年龄线下交点年龄和一致线上的谐和年龄 (217.1 ± 6.6 Ma) 都说明, 花岗岩岩浆的源区物质经历了超高压变质作用的改造, 这也是引起继承锆石中 Pb 丢失的重要原因。

4.2 岩浆锆石 U-Pb 年龄的地质意义

荆山含石榴石花岗岩中典型岩浆锆石边缘振荡环带的存在, 进一步证明了该花岗岩的岩浆成因。一般认为, 含有石榴石的浅色花岗岩来自中部地壳的水平^[33,34]。由此可以推论, 在荆山花岗岩的形成时期——中侏罗世, 蚌埠隆起西部的中下部地壳应存在遭受超高压变质作用改造的华南地块的基底。

苏鲁造山带的北部和以西的胶东地区也存在 155 ~ 160 Ma 的岩浆活动年龄以及 200 ~ 250 和 700 ~ 800 Ma 的继承锆石年龄^[27,28,35,36]。这些特征暗示, 在苏鲁造山带和华北地块东部存在一期中晚侏罗世的岩浆活动。155~160 Ma 的岩浆活动可能与大别-苏鲁超高压变质带快速折返后的伸展环境有关, 板块断裂以及相继出现的岩石圈地幔和/或下地壳底部拆沉可能是解释岩浆成因的理想模式^[37,38]。

致谢 衷心感谢宋彪和刘敦一研究员在锆石 SHRIMP U-Pb 分析中给予的帮助与支持。

参 考 文 献

- 1 肖文交, 周兆秀, 杨振宇, 等. 大别-郯庐-苏鲁造山带复合旋转拼贴作用. 地球科学进展, 2000, 15(2): 147~153
- 2 Okay A I, Xu S, Sengor A M C. Coesite from the Dabie Shan eclogites, central China. Eur Jour Mineral, 1989, 1: 595~598
- 3 Ames L, Tilton G R, Zhou G Z, et al. Timing of collision of the Sino-Korean and Yangtze cratons: U-Pb zircon dating of coesite-bearing eclogites. Geology, 1993, 21: 339~342 [DOI]
- 4 Ames L, Zhou G Z, Xiong B C. Geochronology and isotopic character of ultrahigh-pressure metamorphism with implications for collision of the Sino-Korean and Yangtze cratons, central China. Tectonics, 1996, 15: 472~489 [DOI]
- 5 李曙光, Harte S, 郑双根, 等. 中国华北、华南陆块碰撞时代的 Sm-Nd 同位素年龄证据. 中国科学, B 辑, 1989, (3): 312~319

1) Guo J-H, Chen F-K, Siebel W, et al. Crustal structure and tectonics in post UHP collisional environment of the Sulu orogen, eastern China: implications for SHRIMP zircon U-Pb dating on Jurassic granites. Terra Nova, in press

- 6 李曙光, Jagoutz E, 肖益林, 等. 大别山-苏鲁地体超高压变质年代学 I. Sm-Nd 同位素体系. 中国科学, D 辑, 1996, 26(3): 249~257
- 7 Li S-G, Jagoutz E, Lo C H, et al. Sm/Nd, Rb/Sr, and $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ isotopic systematics of ultrahigh pressure metamorphic rocks from the Dabie-Sulu belt in central China: a retrospective review. *International Geology Review*, 1999, 41: 1114~1124
- 8 杨建军. 中国东部山东和江苏北部的榴辉岩和有关的超基性岩. 北京: 地质出版社, 1991
- 9 乔秀夫, 高林志, 彭 阳. 古郯庐带新元古界——灾变·层序·生物. 北京: 地质出版社, 2001. 1~128
- 10 乔秀夫, 高林志, 彭 阳, 等. 古郯庐带沧浪铺阶地震事件、层序及构造意义. 中国科学, D 辑, 2001, 31(11): 911~918
- 11 Yin A, Nie S. An indentation model for the north China and the south China collision and the development of Tanlu and Honam fault system, eastern Asia. *Tectonics*, 1993, 12: 801~813
- 12 李锦轶. 中朝地块与扬子地块碰撞的时限与方式. 地质学报, 2001, 75(1): 25~33
- 13 汤加富, 侯明金, 高天山. 郯庐断裂带的主要特征与性质讨论. 安徽地质, 1995, 5(3): 60~63
- 14 汤加富, 许 卫. 郯庐断裂带南段并无巨大平移——来自安徽境内的证据. 地质论评, 2002, 48(5): 449~456
- 15 邢历生, 李中坚, 王小凤, 等. 郯庐断裂东侧华南地块部分逆时针转动——古地磁新证据. 地质力学学报, 1995, 1(3): 31~37
- 16 许文良, 王冬艳, 林景仟, 等. 徐淮地区早侏罗世侵入杂岩中石榴辉石岩包体的发现及其地质意义. 科学通报, 2002, 47(8): 618~622 [摘要] [PDF]
- 17 Jahn B-M, Wu F, Lo C-H, et al. Crust-mantle interaction induced by deep subduction of the continental crust: geochemical and Sr-Nd isotopic evidence from post-collisional mafic-ultramafic intrusions of the northern Dabie complex, central China. *Chem Geol*, 1999, 157(1-2): 119~146 [DOI]
- 18 李曙光, 杨 蔚. 大别造山带深部地缝合线与地表地缝合线的解耦及大陆碰撞岩石圈楔入模型: 中生代幔源岩浆岩 Sr-Nd-Pb 同位素证据. 科学通报, 2002, 47(24): 1898~1905 [摘要] [PDF]
- 19 徐佩芬, 孙若昧, 刘福田, 等. 扬子板块俯冲、断离的地震层析成像证据. 科学通报, 1999, 44(15): 1658~1661
- 20 徐佩芬, 刘福田, 王清晨, 等. 大别-苏鲁碰撞造山带的地震层析成像研究——岩石圈三维速度结构. 地球物理学报, 2000, 43(3): 377~385
- 21 杨文采, 程振炎, 陈国九, 等. 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, 1999, 42(1): 41~52
- 22 杨文采, 胡振远, 程振炎, 等. 郯城-涟水综合地球物理长剖面. 地球物理学报, 1999, 42(2): 206~217
- 23 安徽省地质矿产局. 安徽省区域地质志. 北京: 地质出版社, 1987
- 24 Koschek G. Origin and significance of the SEM cathodoluminescence from zircon. *Journal of Microscopy*, 1993, 171: 223~232
- 25 邱瑞龙, 徐 祥, 黄得志. 华北地块东南缘蚌埠地区荆山岩体同位素年龄及其地质意义. 安徽地质, 1999, 9(3): 161~164
- 26 罗振宽, 苗来成, 编著. 胶东招莱地区花岗岩和金矿床. 北京: 冶金工业出版社, 2002. 20~57
- 27 周建波, 郑永飞, 吴元保. 苏鲁造山带西北缘五莲花岗岩中锆石 U-Pb 年龄及其地质意义. 科学通报, 2002, 47(22): 1745~1750
- 28 薛怀民, 董树文, 刘晓春. 大别山东部花岗片麻岩的锆石 U-Pb 年龄. 地质科学, 2002, 37(2): 165~173
- 29 徐惠芬, 杨天南, 刘福来, 等. 苏鲁高压-超高压变质带南部花岗片麻岩-花岗岩的多时代演化. 地质学报, 2001, 75(3): 371~378
- 30 Li Z-X, Li X H, Kinny P D. The breakup of Rodinia: Did it start with a mantle plume beneath South China? *Earth and Planetary Science Letters*, 1999, 173: 171~181 [DOI]
- 31 Hacker B R, Ratschbacher L, Webb L, et al. U/Pb zircon ages constrain the architecture of the ultrahigh-pressure Qinling-Dabie Orogen, China. *Earth and Planetary Science Letters*, 1998, 161: 215~230 [DOI]
- 32 杨经绥, 徐志琴, 吴才来, 等. 含柯石英锆石的 SHRIMP U-Pb 定年: 胶东印支期超高压变质作用的证据. 地质学报, 2002, 76(3): 354~372
- 33 Sylvester P J. Post-collisional strongly peraluminous granites. *Lithos*, 1998, 45: 29~44 [DOI]
- 34 Patino Douce A E. What do experiments tell us about the relative contributions of crust and mantle to the origin of granitic magmas? In: Castro A, et al, eds. *Understanding Granites: Integrating New and Classical Techniques*. Geological Society Special Publication, London, 1999, 168: 55~75
- 35 Miao L, Luo Z, Huang J, et al. Zircon sensitive high resolution ion microprobe (SHRIMP) study of granitoid intrusions in Zhaoye gold belt of Shandong province and its implication. *Science in China, Ser D*, 1997, 40(4): 362~369
- 36 Wang L G, Qiu Y M, McNaughton N J, et al. Constrains on crustal evolution and gold metallogeny in the Northwestern Jiaodong Peninsula, China, from SHRIMP U-Pb zircon studies of granitoids. *Ore Geology Reviews*, 1998, 13: 275~291 [DOI]
- 37 Davies J H, Blanchenburg F V. Slab break-off: A model of lithosphere detachment and its test in the magmatism and deformation of collisional orogens. *Earth and Planetary Science Letters*, 1995, 129: 85~102 [DOI]
- 38 Kay R W, Kay S M. Delamination and delamination magmatism. *Tectonophysics*, 1993, 219: 177~189 [DOI]