

DOI: 10.12017/dzjx.2018.037

安徽庐枞盆地南部 A 型花岗岩成因探讨*

杜欣¹ 吴明安^{1,2} 周涛发¹ 张舒^{1,3}
张赞赞³ 汪晶^{3,4}

(1. 合肥工业大学资源与环境工程学院 合肥 230009; 2. 安徽省地质矿产勘查局 合肥 230001;
3. 安徽省地质调查院 合肥 230001; 4. 中国科学技术大学地球和空间科学学院 合肥 230026)

摘要 长江中下游成矿带 A 型花岗岩与铀(金)矿床(化)具有密切的时空关系, 目前关于 A 型花岗岩的成因存在较大争议, 开展 A 型花岗岩的成因研究将有助于探讨其与铀(金)矿床的成因联系, 为长江中下游成矿带寻找此类矿床提供依据。本文选取了庐枞盆地南部的城山岩体、何家凹岩体和梅林岩体 3 个典型 A 型花岗岩体为研究对象, 开展了详细的野外观察及室内地球化学分析工作, 结合前人的研究成果, 深入讨论了这些 A 型花岗岩的成因。研究结果表明: 城山岩体、何家凹岩体及梅林岩体侵位于 127 Ma, 为庐枞盆地最晚一次岩浆事件的产物, 属于 A 型花岗岩, 它们为同源岩浆演化的产物, 源区以相当于董岭群的变沉积岩为主并夹杂少量地幔物质, 岩浆演化过程以分离结晶作用为主, 斜长石和钾长石为主要的分离结晶相。

关键词 庐枞盆地 A 型花岗岩 锆石 U-Pb 定年 Sr-Nd 同位素

中图分类号: P588, P597 **文献标识码:** A **文章编号:** 0563-5020(2018)02-678-19

长江中下游地区是我国重要的铜铁多金属成矿带, 矿化与区内广泛发育的中生代岩浆活动密切相关, 前人已对该区中生代岩浆岩的形成时代、成因及其与矿化之间的关系等方面取得了许多重要的成果(常印佛等, 1991; 任启江等, 1991; 翟裕生等, 1992; 王德滋等, 1996; 邢凤鸣等, 1999; 陈江峰等, 2005; 周涛发等, 2005, 2007; Mao et al., 2006)。长江中下游地区中生代成岩成矿可以分为以下 3 个系列: 1) 145 ~ 136 Ma 的高钾钙碱性岩浆, 与区内斑岩—矽卡岩型 Cu-Mo-Au 矿化密切相关, 以铜陵矿集区为代表(周涛发等, 2000, 2007; 毛景文等, 2004); 2) 135 ~ 127 Ma 的橄榄安粗质岩浆, 与玢岩型 Fe-S-P 矿床关系紧密, 以宁芜、庐枞矿集区为代表(宁芜玢岩铁矿编写组, 1978; 任启江等, 1991; 周涛发等, 2010; 赵文广等, 2011); 3) 126 ~ 123 Ma 的 A 型花岗岩, 与区内铀(金)矿床关系密切(郑永飞等, 1995, 1997; 范裕等, 2008; 周涛发等, 2008a, 2012)。对于前两个成矿系列的研究程度较高, 但是目前对于这些

* 国家自然科学基金项目(编号: 41320104003)、中国地质调查局地质调查工作项目(编号: 12120114038001, 1212011120862)和安徽省公益性地质工作项目(编号: 2016-g-2-16, 2016-g-1-7)资助。

杜欣, 女, 1991年9月生, 硕士研究生, 矿物学、岩石学、矿床学专业。E-mail: 921034413@qq.com

吴明安, 男, 1964年3月生, 教授级高级工程师, 矿物学、岩石学、矿床学专业。本文通讯作者。E-mail: minganwuwj@126.com

2017-09-10 收稿, 2018-02-01 改回。

A型花岗岩的研究程度远远不够。锆石 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年结果显示其侵位于 127 Ma (范裕等, 2008), 这些 A 型花岗岩的成因目前存在较大争议, 有学者认为这些 A 型花岗岩为富集地幔来源的基性岩浆经历显著的地壳物质混染的结果(孙冶东等, 1991; 曹毅等, 2008; 薛怀民等, 2016); 有学者认为其为壳源岩浆的产物(朱杰辰等, 1992)。对 A 型花岗岩的成因的争议直接制约了铀(金)矿床的成因的深入认识, 不利于指导长江中下游地区的深部找矿工作。鉴于此, 本文选取了长江中下游地区庐枞盆地南部的 3 个典型 A 型花岗岩地质体, 即城山岩体、何家凹岩体和梅林岩体为研究对象, 通过详细的野外观察及室内地球化学分析, 结合前人的研究成果, 系统地讨论了这些花岗岩的源区及形成过程。

1 区域地质概况及岩体地质特征

庐枞盆地位于扬子板块北缘, 郟庐断裂带东侧, 是长江中下游断陷带内北东向的不对称耳状盆地。庐枞盆地构造主要由北东向、北西向、近北向和东西向 4 组深大断裂控制(图 1), 盆地基底东浅西深, 为继承式的中生代陆相盆地(任启江等, 1991)。前寒武纪结晶基底在长江中下游地区零星出现, 主要包括太古代—古元古代的崆岭群片麻岩(Chen et al., 2001)、新元古代董岭群杂岩(片麻岩+斜长角闪岩+石英云母片岩)(邢凤鸣等, 1993; Zhang et al., 2015)。盆地内部主要由早白垩世陆相火山岩覆盖, 该套火山岩不整合覆盖于侏罗纪地层之上(张乐骏, 2011)。火山岩在空间上大致呈同心环状分布, 自盆地边缘至中心由老到新依次出露龙门院组、砖桥组、双庙组和浮山组, 各组之间均为喷发不整合接触(任启江等, 1991; 周涛发等, 2008a, 2008b), 构成 4 个旋回(图 1), 4 个旋回的火山岩为富碱的橄榄安粗岩系列岩石(任启江等, 1991; 袁峰等, 2008)。

庐枞盆地内部有 34 个侵入岩体出露, 侵入体的分布整体上为北东向, 主要位于盆地的南缘及北东缘, 这些岩体按岩性可分为二长岩、钾长岩和正长花岗岩(周涛发等, 2007, 2010)。目前, 随着庐枞盆地内新一轮深部找矿工作的突破, 已在火山岩地层之下发现大量隐伏的富碱性花岗岩侵入体。这些富碱性花岗岩与 Fe-Cu-U 矿化关系密切, 如马口铁矿、34 铀矿等(张舒等, 2014)。

庐枞盆地南部出露的代表性侵入岩体包括城山岩体、何家凹岩体和梅林岩体, 它们的空间分布特征见图 1, 岩体地质特征简述如下:

城山岩体: 城山岩体位于庐枞盆地南部枞阳县金家冲附近, 呈岩株状产出, 北东向展布, 在平面上呈不规则椭圆形, 出露面积约为 19 km²。岩体侵入中侏罗统罗岭组, 主要岩性为碱性花岗岩, 呈似斑状结构, 块状构造(图 2a)。岩石主要由条纹长石(70%)、斜长石(8%)、石英(20%)及少量的黑云母、霓石组成(图 2b)。长石形成较早, 为自形的板状晶形, 石英主要为他形晶, 往往呈它形充填在石英和长石颗粒之间, 形成较晚(图 2b、图 2c)。

何家凹岩体: 位于枞阳县唐家老屋附近, 出露面积约为 5 km², 受北东东向断裂控制, 产在大龙山岩体—城山岩体—黄梅尖岩体之岩带上, 呈岩株状产出。南缘呈脉状

穿插于铜头尖组内，西缘与斑状钾长花岗岩接触。何家凹岩体岩性主要为钾长花岗岩，岩石呈浅红色，半自形粒状结构，块状构造(图2d)。岩石的主要矿物组成为条纹长石(75%)、黑云母(<5%、石英(20%)及霓石等少量暗色矿物。条纹长石，半自形—他形粒状结构，粒径大小为1~4 mm，钾长石和钠长石交生在一起，发生弱粘土化。黑云母呈自形—半自形片状，石英主要呈他形粒状，粒径约为0.5~1.5 mm，填充在长石、暗色矿物间隙中(图2e、图2f)。

梅林岩体：位于枞阳县梅林附近，出露面积约为7 km²，受北东东向断裂控制，产在枞阳岩体—古塘冲岩体—周家山岩体之岩带上，呈岩株状产出。岩体南缘与南陵湖组呈侵入接触，接触面产状不清。梅林岩体的主要岩性为钾长花岗岩。岩石呈浅红色，半自形粒状结构，块状构造(图2g)。岩石的主要矿物组成为条纹长石(75%)、斜长石

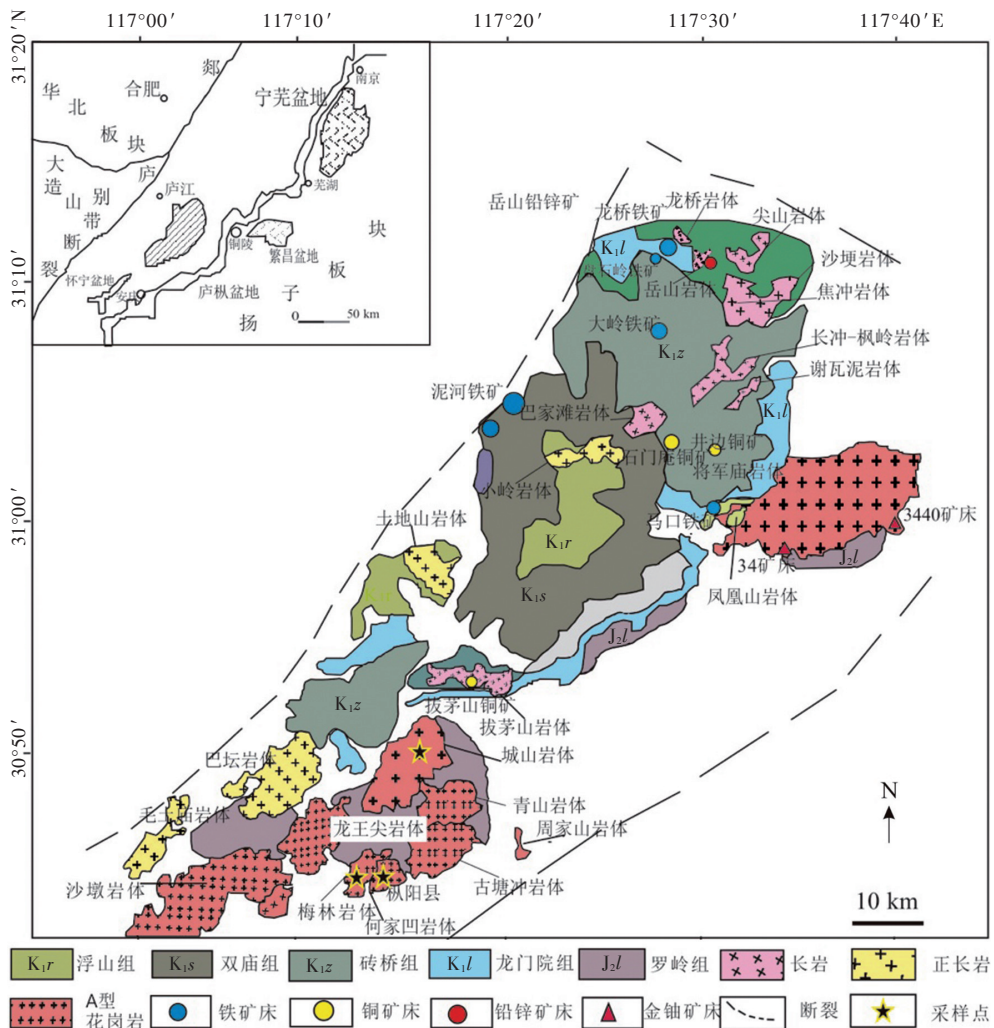


图1 庐枞盆地地质矿产略图及采样点分布(据周涛发等, 2010修改)

Fig. 1 Sketch map of geology and mineral resources in Lu-Zong Basin and sample locations (modified after Zhou et al., 2010)

(5%)、石英(20%)及少量霓石、黑云母等暗色矿物(图2h)。长石主要为条纹长石, 半自形—他形粒状结构, 粒径大小为1~4 mm, 钾长石和石英交生在一起, 呈现典型的文象结构。黑云母呈自形—半自形片状, 多为原生黑云母。石英主要呈他形粒状, 粒径约为0.5~1.5 mm, 填充在长石、暗色矿物间隙中(图2i)。

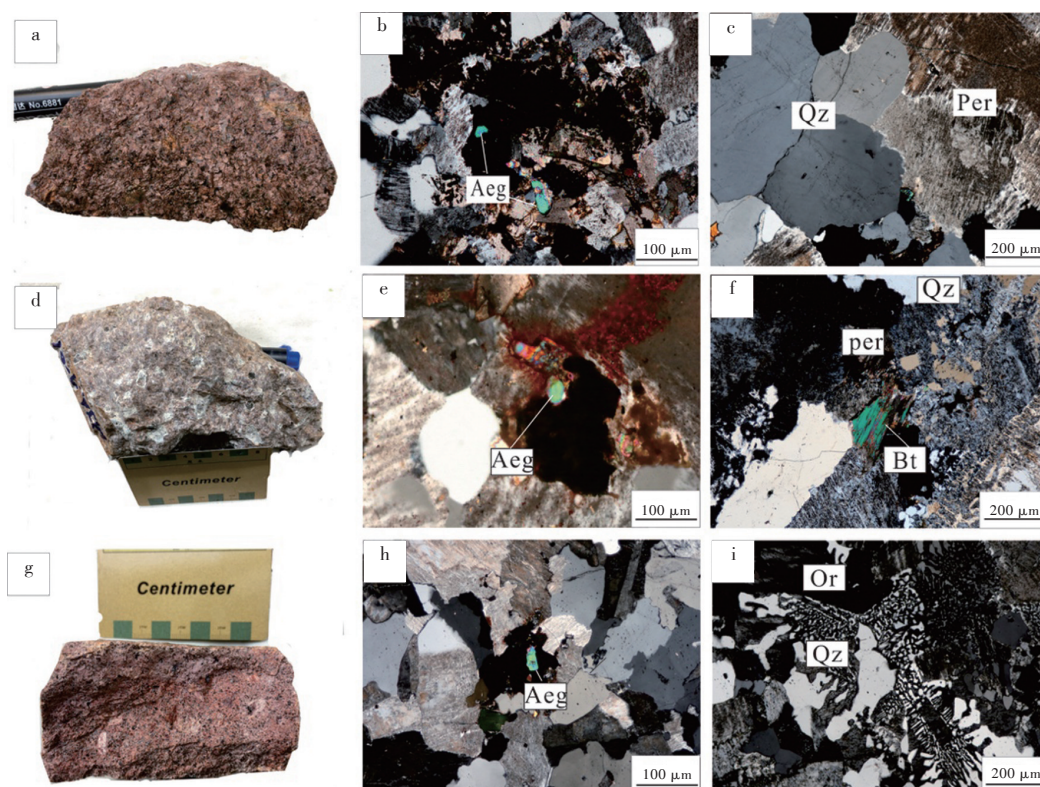


图2 庐枞盆地A型花岗岩的岩石标本及显微照片

a~c. 城山岩体石英正长岩; d~f. 何家凹岩体石英正长岩; g~i. 梅林岩体正长花岗斑岩;

Per. 条纹长石; Aeg. 霓石; Qz. 石英; Or. 钾长石; Bt. 黑云母

Fig. 2 Photos and microphotographs of A-type granites in Lu-Zong Basin

2 样品采集及分析方法

2.1 样品采集

文中所研究的城山、何家凹、梅林岩体样品分别产自枞阳县的金家冲、唐家老屋和梅林附近, 具体采样点见图1。每个岩体各选取了3~4个代表性新鲜样品, 具体样品特征见图2。

2.2 全岩主微量元素分析

全岩主微量测试在核工业北京地质研究所完成。主量元素测试采用理学3080E

XRF 仪器测定, 分析精度小于 1%~5%。微量元素测试过程中样品粉末化学预处理采用两酸(HNO₃+HF)高压反应釜溶样方法, 分析仪器为 Agilent7500a 型等离子质谱仪。元素分析的相对偏差(RSD) <5%。全岩主量、微量数据列于表 1。

2.3 锆石 U-Pb 定年

通过重力和磁选方法从岩石样品中分选出锆石, 与标准锆石(QH)一起制备成环氧树脂靶。经过抛光、清洗处理后, 进行透射光、反射光和阴极发光(CL)扫描电子显微镜照相。分析点的选择首先根据已磨至一半的锆石反射和透射照片进行初选, 再与阴极发光照片反复对比, 力求避开内部矿物包裹体。锆石 LA-ICP-MS 原位 U-Pb 年龄测定在中科院青藏高原所和天津地质调查中心完成。测试仪器为电感耦合等离子体质谱仪(Agilent 7500c)和准分子激光剥蚀系统(COMPEXPro102)联机, 激光器为 ArF 准分子激光器。激光剥蚀束斑直径为 32 μm, 激光能量密度为 10 J/cm², 剥蚀频率为 5 Hz。实验中采用 He 作为剥蚀物质的载气, Ar 为辅助气。锆石年龄计算采用标准锆石 Plesovice (337 Ma) 作为外标, 标准锆石 91500 为监控盲样。剥蚀样品前先进进行 15 次激光脉冲的预剥蚀, 采集 20 s 的空白, 随后进行 62s 的样品剥蚀, 剥蚀完成后进行 2 min 的样品池冲洗。采样方式为单点剥蚀, 每完成 5 个测点的样品测定, 加测标样一次。在 15 个锆石样品前、后各测两次 NIST610。实验获得的同位素比值采用 Glitter 程序处理, 普通铅校正采用 Andersen (2002) 方法, 数据处理、年龄谐和曲线及加权平均值计算采用 Isoplot (4.5) 软件。具体数据列于表 2。

2.4 全岩 Sr-Nd 同位素分析

将 100 mg 左右的岩石粉末样品用 HNO₃+HF 混合酸溶解后, 密封于特氟龙杯子中, 在温度为 80 °C 的电热板上加热七天使样品完全溶解。元素 Rb、Sr、Sm 和 Nd 的分离和纯化是在核工业北京地质研究所通过传统的阳离子交换柱法实现的。质谱分析在天津地质矿产研究所完成, 通过负热电离质谱法(N-TIMS)在 TRITON 上进行测定。Rb、Sr、Sm 和 Nd 的含量是通过同位素稀释剂法获得的。Rb 的测试误差为 2%, Sr 的测试误差为 0.5%~1%, Sm 和 Nd 的测试误差小于 0.5%。Sr 和 Nd 同位素测量值分别按照 ⁸⁶Sr/⁸⁸Sr = 0.119 4 和 ¹⁴⁶Nd/¹⁴⁴Nd = 0.721 9 进行校正。样品测试过程中, Sr 同位素标样 NBS-987 的比值 ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr = 0.710 231±0.000 012 (2σ), 标样 LRIG 的测量值为 ¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd = (0.512 020±0.000 003) (2σ), 以同样化学流程处理的 BCR-2 标样给出如下测试值: Sm = 6.55×10⁻⁶, Nd = 28.80×10⁻⁶, ¹⁴⁷Sm/¹⁴⁴Nd = 0.137 6, ¹⁴³Nd/¹⁴⁴Nd = (0.512 624±0.000 003) (2σ), Rb = 46.59×10⁻⁶, Sr = 330×10⁻⁶, ⁸⁷Rb/⁸⁶Sr = 0.407 6, ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr = 0.705 050±0.000 005 (2σ), 具体数据列于表 3。

3 分析结果

3.1 全岩主微量元素特征

城山岩体、何家凹岩体及梅林岩体的主微量元素数据见表 1。3 个岩体的 SiO₂ 含量

续表 1

样品号	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Ta	W	Re	Tl	Pb	Bi	Th	U	Zr	Hf
CS-1	1.73	8.15	1.24	6.57	1.28	4.11	0.82	4.68	0.7	2.46	1.57	0.01	0.54	24.1	0.15	27.6	3.72	326	11.1
CS-2	1.5	8.29	1.25	6.44	1.21	3.71	0.73	4.2	0.62	2.54	1.25	0.01	0.54	11.5	0.1	27.6	2.96	300	10.6
CS-3	2.02	11.2	1.68	8.62	1.63	4.96	0.95	5.35	0.78	2.94	7.92	0.01	0.65	20.1	0.11	29.6	3.54	365	12.8
HJA-1	1.17	8.08	1.23	6.39	1.23	3.78	0.78	4.38	0.63	2.98	0.89	0.01	1.02	17	0.27	30.8	2.49	167	6.91
HJA-2	0.91	6.21	0.9	4.76	0.94	3	0.64	3.69	0.59	2.43	1.16	0.01	1.08	14.3	0.26	21.9	1.89	106	4.75
HJA-3	1.24	8.42	1.25	6.04	1.08	3.28	0.65	3.76	0.52	3.14	0.75	0.01	0.98	18.2	0.28	28.5	1.96	140	5.81
HJA-4																			
ML-1	0.63	4.57	0.79	4.63	0.95	3.03	0.7	4.16	0.64	3.2	1.16	0.01	1.19	13.1	0.16	67.3	3.83	162	6.06
ML-2	0.41	2.68	0.45	2.63	0.55	1.79	0.41	2.45	0.41	3.58	0.77	0.01	1.15	11.2	0.16	60.7	3.27	151	5.35
ML-3	0.3	2.58	0.43	2.55	0.55	1.79	0.42	2.7	0.44	3.38	0.92	0.01	1.23	10.8	0.21	63.9	2.6	187	6.78
ML-4																			

表 2 城山、何家凹和梅林岩体的 LA-MC-ICP-MS 锆石 U-Pb 同位素定年结果

Table 2 Results of LA-MC-ICP-MS zircon U-Pb dating of Chengshan, Hejiaao and Meilin rocks

样品号	U/ $\times 10^{-6}$	Th/ $\times 10^{-6}$	Th/U	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}/\text{Ma}$		1σ
				1σ	1σ	1σ	1σ	1σ	1σ			
CS-1-002	617	63	0.10	0.0491	0.00267	0.13879	0.00735	0.02051	0.00026	131	2	
CS-1-003	483	41	0.08	0.04873	0.00489	0.13469	0.01332	0.02005	0.00035	128	2	
CS-1-004	321	450	1.40	0.04959	0.00272	0.13399	0.00715	0.0196	0.00024	125	2	
CS-1-005	152	159	1.05	0.04814	0.00319	0.13234	0.0086	0.01994	0.00027	127	2	
CS-1-006	55	76	1.38	0.04823	0.00901	0.13476	0.02475	0.02027	0.00073	129	5	
CS-1-007	120	235	1.95	0.04851	0.00343	0.13312	0.00918	0.01991	0.00032	127	2	
CS-1-008	108	212	1.96	0.04859	0.00263	0.13223	0.00702	0.01989	0.00024	127	2	
CS-1-009	113	141	1.25	0.04891	0.00354	0.13509	0.00959	0.02004	0.00029	128	2	
CS-1-011	654	75	0.11	0.04856	0.00627	0.13817	0.01755	0.02064	0.00051	132	3	
CS-1-012	214	301	1.40	0.04836	0.00171	0.13236	0.0045	0.01985	0.00019	127	1	
CS-1-013	146	191	1.30	0.04728	0.0024	0.13005	0.00641	0.01996	0.00023	127	1	
CS-1-014	101	217	2.13	0.04897	0.00752	0.13443	0.02033	0.01992	0.00056	127	4	
CS-1-015	53	66	1.23	0.04897	0.00412	0.13442	0.01113	0.01991	0.00029	127	2	

续表 2

样品号	U/ $\times 10^{-6}$	Th/ $\times 10^{-6}$	Th/U	$^{207}\text{Pb}/^{209}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}/\text{Ma}$	1σ
CS-1-016	86	108	1.26	0.04816	0.13284	0.00515	0.02001	0.0002	128	1
CS-1-017	293	427	1.45	0.0467	0.12695	0.00408	0.01972	0.00018	126	1
CS-1-018	37	37	1.00	0.04753	0.12892	0.00915	0.01968	0.00032	126	2
CS-1-019	661	84	0.13	0.04816	0.13101	0.02774	0.01973	0.00071	126	4
CS-1-020	161	201	1.24	0.04866	0.13216	0.01409	0.0197	0.00037	126	2
CS-1-021	53	84	1.58	0.04863	0.13325	0.01539	0.01988	0.00037	127	2
CS-1-022	73	116	1.58	0.04888	0.13469	0.02232	0.01999	0.00069	128	4
CS-1-023	186	208	1.11	0.04864	0.13725	0.0121	0.02047	0.00033	131	2
CS-1-024	334	499	1.49	0.04969	0.13816	0.00723	0.02017	0.00026	129	2
CS-1-025	259	435	1.68	0.04909	0.13651	0.00442	0.02017	0.00019	129	1
CS-1-027	618	69	0.11	0.04846	0.13491	0.00746	0.0202	0.00024	129	2
CS-1-028	39	49	1.25	0.04842	0.13537	0.02423	0.02028	0.00072	129	5
CS-1-029	60	65	1.09	0.04871	0.13264	0.00478	0.01976	0.00019	126	1
CS-1-030	48	61	1.26	0.05003	0.13537	0.00879	0.01963	0.00032	125	2
HJA-1-032	643	78	0.12	0.04908	0.13834	0.00581	0.02045	0.00022	130	1
HJA-1-033	303	354	1.17	0.04887	0.13236	0.0071	0.01965	0.00027	125	2
HJA-1-034	170	173	1.02	0.04847	0.13502	0.00454	0.02021	0.00019	129	1
HJA-1-035	495	219	0.44	0.04766	0.13475	0.00494	0.02051	0.0002	131	1
HJA-1-036	249	246	0.99	0.04875	0.13405	0.00403	0.01994	0.00018	127	1
HJA-1-037	303	421	1.39	0.0483	0.13348	0.00463	0.02004	0.00019	128	1
HJA-1-038	322	452	1.40	0.04794	0.13124	0.00455	0.01986	0.00019	127	1
HJA-1-040	666	68	0.10	0.04826	0.13265	0.00464	0.01994	0.00019	127	1
HJA-1-041	229	269	1.17	0.04865	0.13239	0.00709	0.01974	0.00025	126	2
HJA-1-042	252	242	0.96	0.04862	0.13278	0.00472	0.01981	0.00019	126	1
HJA-1-043	233	305	1.31	0.04901	0.13379	0.00607	0.0198	0.00023	126	1
HJA-1-044	215	234	1.09	0.04953	0.13533	0.0135	0.01982	0.00046	127	3
HJA-1-045	143	263	1.84	0.04954	0.13291	0.01251	0.01946	0.00042	124	3
HJA-1-046	243	340	1.40	0.04878	0.13371	0.00934	0.01988	0.00033	127	2
HJA-1-048	956	157	0.17	0.04866	0.13118	0.00548	0.01955	0.00021	125	1
HJA-1-049	208	206	0.99	0.04884	0.13419	0.02089	0.01993	0.00068	127	4
HJA-1-050	242	259	1.07	0.04884	0.13339	0.00479	0.01981	0.00019	126	1
HJA-1-051	195	228	1.16	0.04903	0.132	0.00969	0.01953	0.00035	125	2

续表 2

样品号	U/ $\times 10^{-6}$	Th/ $\times 10^{-6}$	Th/U	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}/\text{Ma}$	1σ
HJA-1-052	228	316	1.38	0.0492	0.00339	0.13493	0.00903	0.0199	0.00033	127	2
HJA-1-053	153	145	0.95	0.04859	0.00304	0.13307	0.00815	0.01987	0.00024	127	2
HJA-1-054	200	189	0.95	0.04872	0.00209	0.1328	0.00549	0.01977	0.00021	126	1
HJA-1-056	757	85	0.11	0.0484	0.00488	0.13117	0.01293	0.01966	0.00043	126	3
HJA-1-057	129	137	1.06	0.04868	0.00229	0.13203	0.00603	0.01968	0.00022	126	1
HJA-1-058	310	335	1.08	0.04847	0.00337	0.13187	0.00896	0.01974	0.00028	126	2
HJA-1-059	488	910	1.87	0.04912	0.00232	0.1331	0.00608	0.01967	0.00022	126	1
HJA-1-060	675	464	0.69	0.04906	0.0017	0.13377	0.00444	0.01979	0.00018	126	1
ML-1-182	817	103	0.13	0.04868	0.00119	0.13294	0.00303	0.01981	0.00016	126	1
ML-1-184	994	1306	1.31	0.04838	0.00176	0.13126	0.00458	0.01968	0.00018	126	1
ML-1-185	473	1371	2.90	0.04866	0.00247	0.13226	0.00651	0.01972	0.00024	126	2
ML-1-186	242	296	1.22	0.04895	0.00195	0.13442	0.00514	0.01992	0.0002	127	1
ML-1-187	231	248	1.07	0.04842	0.0022	0.13547	0.00594	0.0203	0.00023	130	1
ML-1-188	286	602	2.10	0.04897	0.00229	0.13364	0.00604	0.0198	0.00023	126	1
ML-1-190	613	59	0.10	0.04841	0.00405	0.13193	0.01078	0.01977	0.00037	126	2
ML-1-191	327	394	1.20	0.0485	0.00163	0.13333	0.00427	0.01994	0.00018	127	1
ML-1-192	275	355	1.29	0.04857	0.00132	0.13266	0.00341	0.01981	0.00016	126	1
ML-1-193	70	109	1.56	0.04866	0.00202	0.13285	0.00531	0.0198	0.0002	126	1
ML-1-194	238	277	1.16	0.04819	0.00167	0.13234	0.00438	0.01992	0.00018	127	1
ML-1-195	271	400	1.48	0.04767	0.00358	0.13232	0.00969	0.02014	0.00034	129	2
ML-1-196	354	525	1.48	0.04952	0.00291	0.13493	0.0077	0.01977	0.00028	126	2
ML-1-198	628	63	0.10	0.04867	0.00108	0.1346	0.00273	0.02006	0.00015	128	0.9
ML-1-199	261	324	1.24	0.04837	0.0022	0.13339	0.00585	0.02001	0.00022	128	1
ML-1-200	267	325	1.22	0.04955	0.00358	0.13604	0.00956	0.01991	0.00033	127	2
ML-1-201	167	215	1.28	0.04915	0.00353	0.13605	0.00952	0.02008	0.00032	128	2
ML-1-202	442	1188	2.68	0.04855	0.00648	0.13517	0.01766	0.0202	0.00058	129	4
ML-1-203	222	294	1.33	0.04839	0.00194	0.13124	0.00507	0.01967	0.00019	126	1
ML-1-204	534	346	0.65	0.04872	0.00206	0.13596	0.00555	0.02025	0.00021	129	1
ML-1-206	677	70	0.10	0.04864	0.00216	0.13431	0.00575	0.02003	0.00022	128	1
ML-1-208	286	368	1.29	0.04815	0.00941	0.13317	0.02555	0.02007	0.00078	128	5
ML-1-209	366	588	1.60	0.04942	0.00281	0.1351	0.00747	0.01983	0.00026	127	2
ML-1-210	164	150	0.91	0.04899	0.00264	0.13509	0.00709	0.02	0.00025	128	2

表3 城山、何家凹和梅林岩体的Sr-Nd同位素数据
Table 3 Sr-Nd isotopic data of Chengshan, Hejiaao and Meilin rocks

样品号	年龄 /Ma	Sm / $\times 10^{-6}$	Nd / $\times 10^{-6}$	^{147}Sm / ^{144}Nd	^{143}Nd / ^{144}Nd	2σ	$f_{\text{Sm/Nd}}$	^{143}Nd / $^{144}\text{Nd}(t)$	$\epsilon_{\text{Nd}}(t)$	^{87}Sr / $^{86}\text{Sr}(t)$	2σ
CS-01	127	8.868	48.11	0.11	0.512313	0.000001	-0.43	0.512220	-5.0	0.711198	0.0003
CS-02	127	8.750	49.39	0.11	0.512350	0.000007	-0.46	0.512261	-4.2	0.712288	0.0002
CS-03	127	11.68	64.34	0.11	0.512245	0.000001	-0.44	0.512154	-6.3	0.711907	0.0004
HJA-01	127	8.344	47.84	0.11	0.512258	0.000004	-0.46	0.512170	-5.9	0.712878	0.0003
HJA-02	127	6.388	37.18	0.10	0.512235	0.000002	-0.47	0.512149	-6.4	0.712463	0.0002
HJA-03	127	8.758	51.36	0.10	0.512265	0.000006	-0.48	0.512179	-5.8	0.711967	0.0003
ML-01	127	5.018	25.81	0.12	0.512305	0.000005	-0.40	0.512207	-5.2	0.736353	0.0008
ML-02	127	2.926	16.38	0.11	0.512256	0.000007	-0.45	0.512166	-6.0	0.746225	0.0007
ML-03	127	2.438	13.28	0.11	0.512292	0.000003	-0.44	0.512200	-5.4	0.765908	0.0007

为66.07%~76.71%， $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ 含量为7.8%~10.6%。在TAS分类图上，梅林岩体和何家凹岩体位于花岗岩范围内，城山岩体落入石英二长岩的区域(图3a)。3个花岗岩的 $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 均大于1，为1.11~2.95。在A/NK-A/CNK图解上，3个岩体均位于过铝质区域(图3b)。哈克图解见图4。城山岩体具有最高含量的 Al_2O_3 、CaO、 P_2O_5 和 FeO^T ，梅林岩体上述氧化物含量最低，何家凹岩体元素含量介于两者之间(图4)。

3个岩体的稀土配分图及微量元素蛛网图见图5。在稀土球粒陨石标准化图解上，3个岩体均显示明显的富集轻稀土的右倾模式， $(\text{La}/\text{Yb})_N = 5.84 \sim 19.84$ ，Eu呈中等的负异常 $\delta\text{Eu} = 0.36 \sim 0.63$ ，未出现明显的稀土元素“四分组效应”($\text{TE}_{1,3} = 0.74 \sim 1.14$ ；绝大多数 < 1.1)。在微量元素原始地幔标准化图上，这些花岗岩均富集大离子亲石元素Rb、Th、Pb，亏损高场强元素Nb、Ta、Ti，Ba、Sr也呈现出明显的负异常。

3.2 锆石U-Pb定年结果

本文分别对城山岩体样品CS-1，梅林岩体样品ML-1，何家凹岩体样品HJA-1进行的锆石U-Pb定年结果如图6所示，锆石呈自形一半自形棱柱状，长100~200 μm ，长宽比为2:1。锆石的震荡环带发育，Th/U比大于0.1，指示这些锆石为岩浆成因。锆石定年分析结果见表2，年龄谐和图解见图7。城山岩体锆石定年结果为132~125 Ma，何家凹岩体为131~124 Ma，梅林岩体为130~126 Ma。这些锆石年龄与前人报道的年龄相一致(范裕等，2008)，指示城山岩体、何家凹岩体及梅林岩体的侵位都发生于127 Ma前后。

3.3 全岩Sr-Nd同位素结果

城山岩体、何家凹岩体、梅林岩体的Sr-Nd同位素结果见表3。城山岩体的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}(t) = 0.70695 \sim 0.70742$ ， $\epsilon_{\text{Nd}}(t) = -6.3 \sim -4.2$ ，对应的两阶段模式年龄为1429~1259 Ma。何家凹岩体的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}(t) = 0.70795 \sim 0.70931$ ， $\epsilon_{\text{Nd}}(t) = -6.4 \sim -5.8$ ，对应的两阶段模式年龄为1438~1389 Ma。梅林岩体的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}(t) = 0.70605 \sim 0.70939$ ， $\epsilon_{\text{Nd}}(t) = -6.0 \sim -5.2$ ，

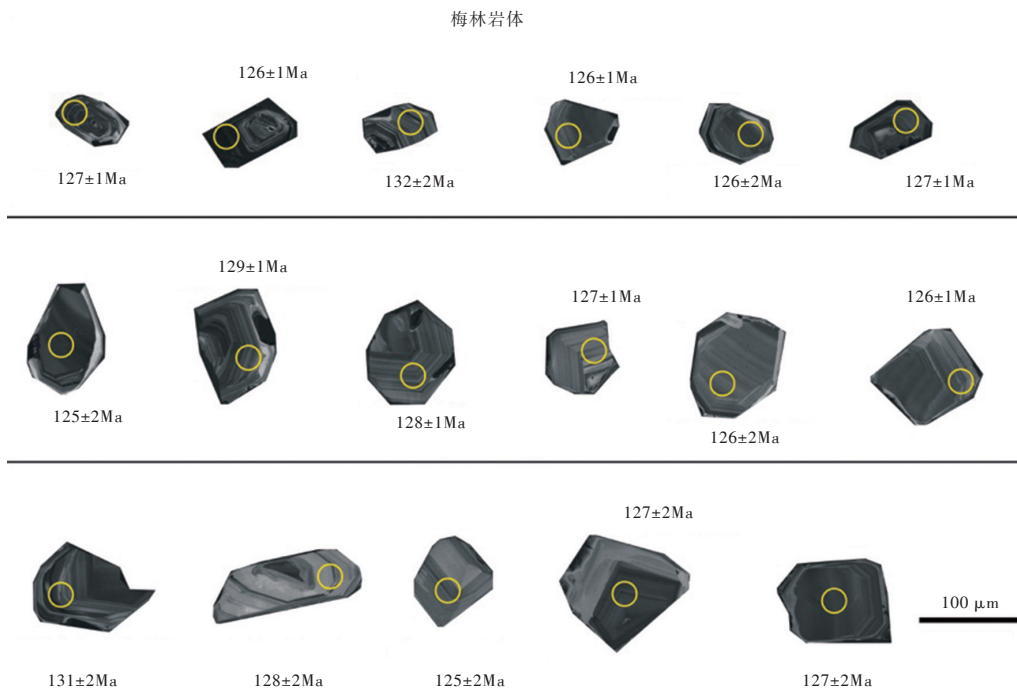


图 6 庐枞盆地南部A型花岗岩代表性锆石 CL 图像

Fig. 6 CL images of representative zircon grains for the A-type granites of South Lu-Zong Basin

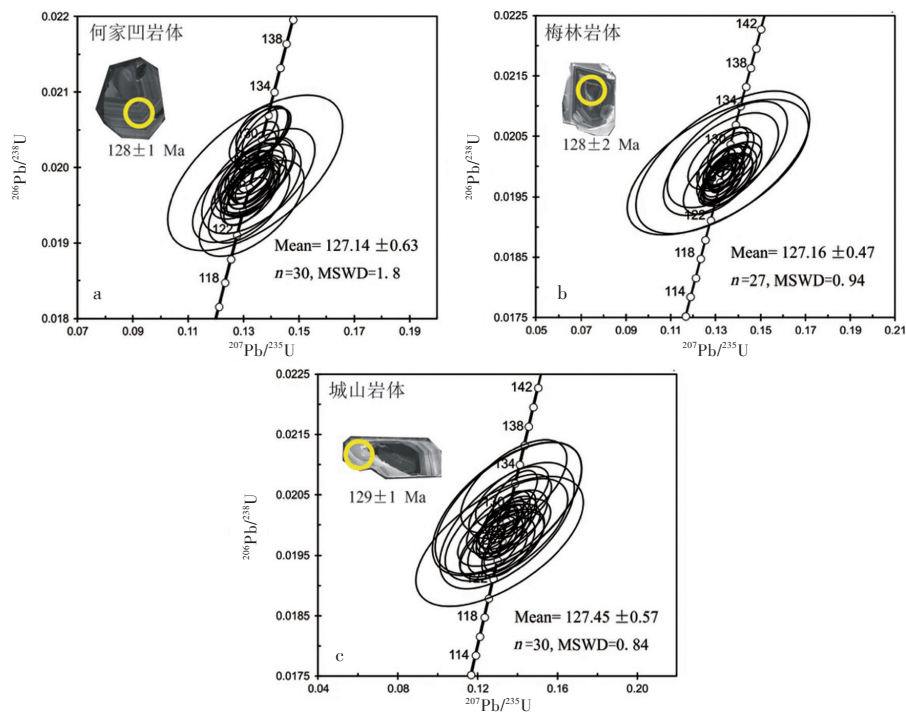


图 7 庐枞盆地南部A型花岗岩锆石 $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ - $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 谐和图

Fig. 7 Zircon $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ - $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ concordia diagram for the A-type granites of South Lu-Zong Basin

对应的两阶段模式年龄为 1 409 ~ 1 344 Ma。

4 讨 论

4.1 花岗岩的形成时代

对于庐枞盆地南部花岗岩的侵位时间,目前已经有较多的同位素年龄资料发表。我们本次的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年结果显示城山岩体、梅林岩体及何家凹岩体侵位于 127 Ma 左右,与前人的定年结果相一致(范裕等, 2008)。这些花岗岩的侵位年龄稍晚于盆地内广泛发育的 135 ~ 127 Ma 的橄榄安粗质火山岩(周涛发等, 2010), 代表庐枞盆地内发育的最晚一期岩浆事件。

长江中下游地区中生代成岩成矿可以分为以下 3 个系列: 1) 145 ~ 136 Ma 的高钾钙碱性岩浆岩,这一期次的岩浆普遍具有埃达克岩特征,与斑岩—矽卡岩型 Cu-Mo-Au 矿化密切相关; 2) 135 ~ 127 Ma 的橄榄安粗质岩浆岩,与玢岩型 Fe-S-P 矿床关系紧密; 3) 126 ~ 123 Ma 的 A 型花岗岩,与区内铁氧化物—铜—金(铀)矿床(IOCG)密切相关(郑永飞等, 1995, 1997; 范裕等, 2008; 周涛发等, 2008a, 2012)。这些花岗岩代表了庐枞盆地最晚期的岩浆事件,标志着整个地区已经进入了伸展为主的拉张构造背景,这些花岗岩形成于软流圈上涌和岩石圈伸展减薄的环境中(王元龙等, 2001; Xie et al., 2008; 袁峰等, 2008)。

4.2 花岗岩的类型

前人的研究已初步认定庐枞盆地南部这些花岗岩为 A 型花岗岩(范裕等, 2008)。在矿物组成上,城山岩体,何家凹岩体和梅林岩体含有典型的碱性暗色矿物如钠铁闪石、霓石(图 2b、图 2e、图 2h),表明其为典型的 A 型花岗岩。在主量元素上,3 个岩体均亏损 CaO、MgO,具有较高的 TFeO 及 K₂O、Na₂O 含量。在微量元素上,富集 Rb、Th 等大离子亲石元素,亏损 Sr、Ba,具有较高的 10000Ga/Al (2.5 ~ 3.4), Nb+Y+Ce+Zr (270×10⁻⁶ ~ 602×10⁻⁶), 大于 A 型花岗岩的下限值 2.6×10⁻⁶ 和 350×10⁻⁶ (Whalen, 1987), 地球化学投图上均位于 A 型花岗岩区域(图 8)。锆石饱和温度计算的结果表明这些岩体的形成温度均大于 800 °C, 形成温度较高,与典型的 A 型花岗岩相一致(Holtz et al., 2001; Klimm et al., 2003)。

4.3 花岗岩的源区及形成过程

Sr、Nd 同位素能够有效地制约花岗岩的源区组成(Farmer and DePaolo, 1987; Lottermoser, 1991; DePaolo and Getty, 1996)。庐枞盆地及周边主要出露的火山岩包括龙门院组、砖桥组、双庙组及浮山组橄榄安粗岩,其 ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr(127 Ma) = 0.704 91 ~ 0.707 45, ε_{Nd}(127 Ma) = -10.8 ~ -3.2 (薛怀民等, 2016)。长江中下游地区出露的基底包括太古代—古元古代的崆岭群,其 ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr(127 Ma) = 0.713 ~ 0.719, ε_{Nd}(127 Ma) = -50 ~ -35; 新元古代董岭群杂岩,该杂岩中两个斜长角闪岩样品的 ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr(127 Ma) 分别为 0.716 71、0.721 34, ε_{Nd}(127 Ma) 为 -18.6 和 -7.0 (邢凤鸣等, 1993; Chen and

Jahn, 1998)。虽然这些基底在庐枞盆地中没有出露, 但如图9a所示, 本文所研究的庐枞盆地南部3个花岗岩的Sr-Nd同位素介于橄榄安粗岩与董岭群杂岩之间, 明显偏离崆岭群片麻岩的同位素组成, 表明花岗岩可能为橄榄安粗岩浆与相当于董岭群杂岩共同作用的产物。

有学者认为这些A型花岗岩为富集地幔来源的基性岩浆经历显著的地壳物质混染的结果(孙冶东等, 1991; 曹毅等, 2008; 薛怀民等, 2016); 也有学者认为其为壳源岩浆的产物(朱杰辰等, 1992)。本次研究结果如图9b所示, 花岗岩的 $\epsilon_{Nd}(t)$ 值并没有随着 SiO_2 的增大而显著减小, 指示这些花岗岩形成过程中并没有经历显著的地壳混染过程。除此之外, 庐枞盆地出露的火山岩具有明显偏高的MgO、FeO, 更低的 SiO_2 , 在球粒陨石标准化图解上基本上无Eu的负异常, 均指示庐枞盆地南部A型花岗岩不是基性岩浆经历显著的地壳物质混染的产物。相比于区内基底, 本次研究的花岗岩具有较低的Sr同位素比值及较高的Nd同位素值, 因此其源区不可能只有董岭群变质岩, 必须需要一定的地幔物质添加。

考虑到我们所研究的这3个花岗岩体均为富铝花岗岩, 其源区以变质沉积岩为主。新元古代董岭群主要由片麻岩、云母片岩、板岩、千枚岩夹杂斜长角闪岩组成(邢凤鸣等, 1993), 由其部分熔融能够产生富铝熔体。因此, 我们认为庐枞盆地南部广泛出露的A型花岗岩可能是富集地幔来源的类似于盆地内广泛分布的橄榄安粗质基性岩浆底垫至下地壳, 加热类似董岭群变沉积岩组成的下地壳发生部分熔融并且添加了部分物质形成了这些花岗岩的母岩浆。考虑到这些花岗岩显著富钾($K_2O/Na_2O = 1.11 \sim 2.95$)及过铝($A/CNK = 1.08 \sim 1.54$)高铁镁的特征, 表明源区组成中地壳部分所占比例较大。

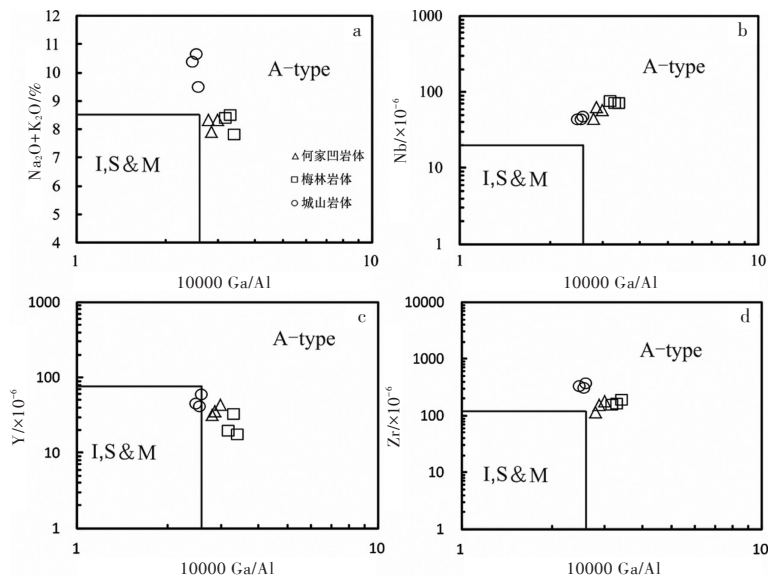


图8 庐枞盆地南部花岗岩 Na_2O+K_2O 、Nb、Y、Zr-10000Ga/Al判别图解
(底图据 Whalen, 1987) (岩体图例如图3所示)

Fig. 8 Discriminant diagrams of Na_2O+K_2O , Nb, Y, Zr-10000Ga/Al for the granites of South Lu-Zong Basin
(after Whalen, 1987)

本次工作所研究的城山、何家凹、梅林3个岩体具有类似地球化学特征，在哈克图解上呈现出逐渐演化关系(图4)，在稀土配分模式及微量元素蛛网图上3个花岗岩显示非常相似(图5)，表明这3个岩体很可能是同源演化的产物。另外，3个岩体具有类似的Nd同位素组成，在 $\text{SiO}_2-\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 图解上显示出分离结晶的趋势。主量元素 Al_2O_3 和 CaO 随着硅含量的增加呈现出明显的线性减小趋势，表明花岗岩形成过程中有长石的分离结晶。微量元素被广泛用于示踪分离结晶过程。如图10所示，从城山岩体至何家凹岩体再到梅林岩体的形成过程中，主要以斜长石+钾长石作为分离结晶矿物相，副矿物主

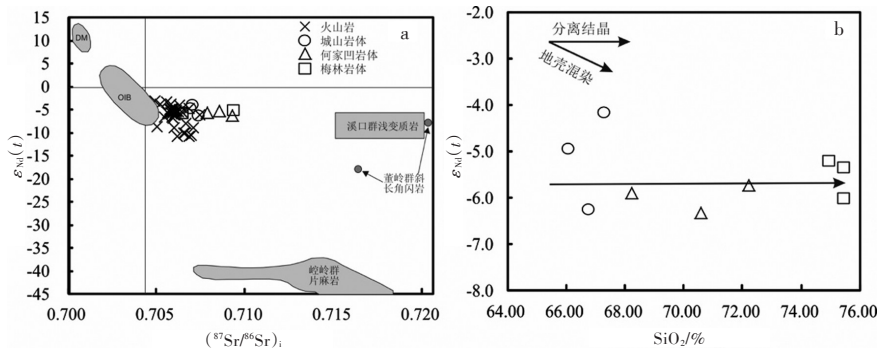


图9 庐枞盆地火山岩—花岗岩Sr-Nd同位素图解(a)和庐枞盆地南部花岗岩 $\text{SiO}_2-\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 图解(b) DM. 亏损地幔(据Yang et al., 2005); OIB. 洋岛玄武岩(据Yang et al., 2005); 崆岭群片麻岩、董岭群斜长角闪岩(据邢凤鸣等, 1993; 凌文黎等, 1998; Ma et al., 2000; 溪口群浅变质岩(据Chen and Jahn, 1998; Chen et al., 2017); 火山岩数据(据薛怀民等, 2016);

Fig. 9 $\epsilon_{\text{Nd}}(t)-(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i$ plots for the Mesozoic rocks of Lu-Zong volcanic and intrusive rocks (a); $\text{SiO}_2-\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ plots for the granites of South Lu-Zong Basin (b).

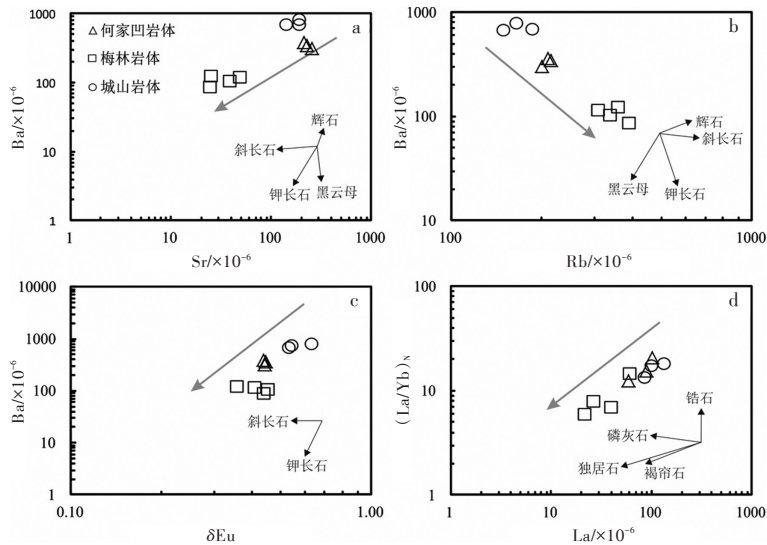


图10 庐枞盆地南部A型花岗岩微量元素Sr-Ba、Ru-Ba、 $\delta\text{Eu}-\text{Ba}$ 和 $\text{La}-(\text{La}/\text{Yb})_N$ 图解
Fig. 10 Trace elements diagrams of Sr-Ba, Ru-Ba, $\delta\text{Eu}-\text{Ba}$ and $\text{La}-(\text{La}/\text{Yb})_N$ for the A-type granites of South Lu-Zong Basin

要以独居石或褐帘石分离为主。

5 结 论

1) 城山岩体、何家凹岩体及梅林岩体侵位结晶于 127 Ma, 代表庐枞盆地内最晚一期的岩浆事件;

2) 庐枞盆地南部城山岩体、何家凹岩体及梅林岩体属于 A 型花岗岩, 这 3 个花岗岩为同源岩浆演化的产物。

3) A 型花岗岩体的源区以相当于董岭群变沉积岩为主并夹杂有少量地幔物质, 形成过程中以分离结晶过程为主, 分离结晶相以斜长石和钾长石为主。

参 考 文 献

- 曹 毅, 杜杨松, 蔡春麟等. 2008. 安徽庐枞地区中生代 A 型花岗岩类及其岩石包体: 在碰撞后岩浆演化过程中的意义. *高校地质学报*, 14(4): 565-576.
- Cao Yi, Du Yangsong, Cai Chunlin et al. 2008. Mesozoic A-type granitoids and xenoliths in the Lujiang-Zongyang area, Anhui Province: Significance in post-collisional magmatic evolution. *Geological Journal of China Universities*, 14(4): 565-576.
- 常印佛, 刘湘培, 吴言昌. 1991. 长江中下游铜铁成矿带. 北京: 地质出版社. 1-379.
- Chang Yingfu, Liu Xiangpei and Wu Yanchang. 1991. The Middle and Lower Reaches of the Yangtze River Copper Iron Metallogenic Belt. Beijing: Geological Publishing House. 1-379.
- 陈江峰, 喻 钢, 杨 刚等. 2005. 安徽沿江江南晚中生代岩浆—成矿年代学格架. *安徽地质*, 15(3): 161-169.
- Chen Jiangfeng, Yu Gang, Yang Gang et al. 2005. A geochronological framework of Late Mesozoic magmatism and metallogenesis in the lower Yangtze valley, Anhui Province. *Geology of Anhui*, 15(3): 161-169.
- 范 裕, 周涛发, 袁 峰等. 2008. 安徽庐江—枞阳地区 A 型花岗岩的 LA-ICPMS 定年及其地质意义. *岩石学报*, 24(8): 1715-1724.
- Fan Yu, Zhou Taofa, Yuan Feng et al. 2008. LA-ICP-MS zircon U-Pb ages of the A-type granites in the Lu-Zong (Lujiang-Zongyang) area and their geological significances. *Acta Petrologica Sinica*, 24(8): 1715-1724.
- 凌文黎, 高 山, 郑海飞等. 1998. 扬子克拉通黄陵地区崆岭杂岩 Sm-Nd 同位素地质年代学研究. *科学通报*, 43(1): 86-89.
- Ling Wenli, Gao Shan, Zheng Haifei et al. 1998. An Sm-Nd isotopic dating study of the Archean Kongling complex in the Huangling area of the Yangtze Craton. *Chinese Science Bulletin*, 43(14): 1187-1191.
- 毛景文, Holly Stein, 杜安道等. 2004. 长江中下游地区铜金(钼)矿 Re-Os 年龄测定及其对成矿作用的指示. *地质学报*, 78(1): 121-131.
- Mao Jingwen, Holly Stein, Du Andao et al. 2004. Molybdenite Re-Os precise dating for molybdenite from Cu-Au-Mo deposits in the middle-lower reaches of Yangtze River belt and its implications for mineralization. *Acta Geologica Sinica*, 78(1): 121-131.
- 宁芜玢岩铁矿编写组. 1978. 宁芜玢岩铁矿. 北京: 地质出版社. 1-196.
- The Writing Group of the Porphyry Iron Deposits in Ningwu Area. 1978. The Porphyry Iron Deposits in Ningwu Area. Beijing: Geological Publishing House. 1-196.
- 任启江, 刘孝善, 徐兆文等. 1991. 安徽庐枞中生代火山构造洼地及其成矿作用. 北京: 地质出版社. 1-206.
- Ren Qijiang, Liu Xiaoshan, Xu Zhaowen et al. 1991. The Tectonic Depressions and Mineralization of Mesozoic Volcanic of Luzong Area. Beijing: Geological Publishing House. 1-206.
- 孙冶东, 刘孝善, 褚立明. 1991. 安徽庐枞地区正长岩类稳定同位素研究. *岩石学报*, 8(3): 95-97.
- Sun Zhidong, Liu Xiaoshan and Chu Liming. 1991. The stable isotope study of syenitoid in Lujiang-Zongyang area, Anhui

- Province. *Acta Petrologica Sinica*, 8(3): 95-97.
- 王德滋, 任启江, 邱检生等. 1996. 中国东部橄榄安粗岩省的火山岩特征及其成矿作用. *地质学报*, 70(1): 23-34.
- Wang Dezi, Ren Qijiang, Qiu Jiansheng et al. 1996. Characteristics of volcanic rocks in the shoshonite province, eastern China, and their metallogenesis. *Acta Geologica Sinica*, 70(1): 23-34.
- 王元龙, 张 旗, 王 焰. 2001. 宁芜火山岩的地球化学特征及其意义. *岩石学报*, 17(4): 565-575.
- Wang Yuanlong, Zhang Qi and Wang Yan. 2001. Geochemical characteristics of volcanic rocks from Ningwu area, and its significance. *Acta Petrologica Sinica*, 17(4): 565-575.
- 薛怀民, 马 芳, 曹光跃等. 2016. 长江中下游庐枞火山岩盆地南侧钾质侵入岩带的成因. *地质学报*, 90(9): 2233-2257.
- Xue Huaimin, Ma Fang, Cao Guangyue et al. 2016. Petrogenesis of potassic intrusive rocks along the southern margin of the Luzong volcanic basin, middle and lower Yangtze River reaches, China. *Acta Geologica Sinica*, 90(9): 2233-2257.
- 邢凤鸣, 徐 祥, 李志昌等. 1993. 长江中下游早元古代基底的发现及意义. *科学通报*, 38(20): 1883-1886.
- Xing Fengming, Xu Xiang, Li Zhichang et al. 1993. Discovery of the Early Proterozoic basement in the middle-lower reaches of Yangtze River and its significance. *Chinese Science Bulletin*, 39(2): 135-139.
- 邢凤鸣, 徐 祥. 1999. 安徽扬子岩浆岩带与成矿. 合肥: 安徽人民出版社. 1-170.
- Xing Fengming and Xu Xiang. 1999. The Magmatic Belt and Mineralization in Yangtze Area, Anhui Province. Hefei: Anhui People's Publishing House. 1-170.
- 袁 峰, 周涛发, 范 裕等. 2008. 庐枞盆地中生代火山岩的起源、演化及形成背景. *岩石学报*, 24(8): 1691-1702.
- Yuan Feng, Zhou Taofa, Fan Yu et al. 2008. Source, evolution and tectonic setting of Mesozoic volcanic rocks in Luzong Basin, Anhui Province. *Acta Petrologica Sinica*, 24(8): 1691-1702.
- 翟裕生, 姚书振, 林新多. 1992. 长江中下游地区铁铜(金)成矿规律. 北京: 地质出版社. 1-235.
- Zhai Yusheng, Yao Shuzhen and Lin Xinduo. 1992. The metallogenic Regularity of Iron and Copper in the Middle and Lower Reaches of Yangtze River (Gold). Beijing: Geological Publishing House. 1-235.
- 张乐骏. 2011. 安徽庐枞盆地成岩成矿作用研究(博士学位论文). 合肥: 合肥工业大学. 1-279.
- Zhang Lejun. 2011. The Study of Diagenesis-Mineralization in Lu-Zong Area, Anhui Province (PhD Thesis). Hefei: Hefei University of Technology. 1-279.
- 张 舒, 吴明安, 汪 晶等. 2014. 安徽庐枞盆地与正长岩有关的成矿作用. *地质学报*, 88(4): 519-531.
- Zhang Shu, Wu Ming'an, Wang Jing et al. 2014. The mineralization related with the syenite in Luzong Basin, Anhui Province. *Acta Geologica Sinica*, 88(4): 519-531.
- 赵文广, 吴明安, 张宜勇等. 2011. 安徽省庐江县泥河铁硫矿床地质特征及成因初步分析. *地质学报*, 85(5): 789-802.
- Zhao Wenguang, Wu mingan, Zhang Yiyong et al. 2001. Geological characteristics and genesis of the Nihe Fe-S deposit, Lujiang Coutry, Anhui Province. *Acta Geologica Sinica*, 85(5): 789-802.
- 郑永飞, 傅 斌, 龚 冰. 1995. 安徽黄梅尖岩体热历史及其与成矿关系: 同位素证据. *地质学报*, 69(4): 337-348.
- Zheng Yongfei, Fu Bin and Gong Bin. 1995. The thermal history of the Huangmeijian intrusion Anhui and its relation to mineralization: Isotopic evidence. *Acta Geologica Sinica*, 69(4): 337-348.
- 郑永飞, 魏春生, 王峥嵘等. 1997. 大龙山岩体冷却史及其成矿关系的同位素研究. *地质科学*, 32(4): 645-657.
- Zheng Yongfei, Wei Chunsheng, Wang Zhengrong et al. 1997. An isotope study on the cooling history of the Dalongshan granitic massif and its bearing on mineralizing process. *Chinese Journal of Geology (Scientia Geologica Sinica)*, 32(4): 645-657.
- 周涛发, 袁 峰, 岳书仓等. 2000. 长江中下游两个系列铜、金矿床及其成矿流体系统的氢、氧、硫、铅同位素研究. *中国科学(D辑)*, 30(增刊): 122-128.
- Zhou Taofa, Yuanfeng, Yue Shucang et al. 2000. Two series of copper-gold deposits in the middle and lower reaches of the Yangtze River area (MLYRA) and the hydrogen, oxygen, sulfur and lead isotopes of their ore-forming hydrothermal systems. *Science in China (Series D)*, 43(suppl.): 208-218.
- 周涛发, 岳书仓, 袁 峰等. 2005. 安徽月山矿田成岩成矿作用. 北京: 地质出版社. 1-146.

- Zhou Taofa, Yue Shucang, Yuan Feng et al. 2005. The Diagenetic Mineralization of Yueshan Deposit, Anhui Province. Beijing: Geological Publishing House. 1-146.
- 周涛发, 宋明义, 范 裕等. 2007. 安徽庐枞盆地中巴家滩岩体的年代学研究及其意义. 岩石学报, 23(10): 583-591.
- Zhou Taofa, Song Mingyi, Fan Yu et al. 2007. Chronology of the Bajiatan intrusion in the Luzong Basin, and its significance. *Acta Petrologica Sinica*, 23(10): 583-591.
- 周涛发, 范 裕, 袁 峰等. 2008a. 长江中下游成矿带成岩成矿作用研究进展. 岩石学报, 24(8): 1665-1678.
- Zhou Taofa, Fan Yu, Yuan Feng et al. 2008a. Advances on petrogenesis and metallogeny study of the mineralization belt of the middle and lower reaches of the Yangtze River area. *Acta Petrologica Sinica*, 24(8): 1665-1678.
- 周涛发, 范 裕, 袁 峰等. 2008b. 安徽庐枞(庐江—枞阳)盆地火山岩的年代学及其意义. 中国科学(D辑), 38(11): 1342-1353.
- Zhou Taofa, Fan Yu, Yuan Feng et al. 2008b. Geochronology of the volcanic rocks in the Lu-Zong Basin and its significance. *Science in China (Series D)*, 51(10): 1470-1482.
- 周涛发, 范 裕, 袁 峰等. 2010. 庐枞盆地侵入岩的时空格架及其对成矿的制约. 岩石学报, 26(9): 2694-2714.
- Zhou Taofa, Fan Yu, Yuan Feng et al. 2010. Temporal spatial framework of magmatic intrusions in Luzong volcanic basin in East China and their constrain to mineralizations. *Acta Petrologica Sinica*, 26(9): 2694-2714.
- 周涛发, 王 彪, 范 裕. 2012. 庐枞盆地与A型花岗岩有关的磁铁矿—阳起石—磷灰石矿床——以马口铁矿床为例. 岩石学报, 28(10): 3087-3098.
- Zhou Taofa, Wang Biao, Fan Yu et al. 2012. Apatite-actinolite-magnetite deposit related to A-type granite in Luzong Basin: Evidence from Makou iron deposit. *Acta Petrologica Sinica*, 28(10): 3087-3098.
- 朱杰辰, 郑愨公, 营俊龙等. 1992. 大龙山、昆山铀矿床稳定同位素地质特征研究. 铀矿地质, 8(6): 338-347.
- Zhu Jiechen, Zheng Biegong, Ying Junlong et al. 1992. A study on geological characteristics of stable isotopes in Dalongshan and Kunshan uranium deposits. *Uranium Geology*, 8(6): 338-347.
- Andersen T. 2002. Correction of common lead in U-Pb analyses that do not report ^{204}Pb . *Chemical Geology*, 192(1-2): 59-79.
- Chen J F and Jahn B M. 1998. Crustal evolution of southeastern China: Nd and Sr isotopic evidence. *Tectonophysics*, 284(1-2): 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, in eastern China: Constraints on sources. *Physics and Chemistry of the Earth, Part A; Solid Earth and Geodesy*, 26(9-10): 719-731.
- DePaolo D J and Getty S R. 1996. Models of isotopic exchange in reactive fluid-rock systems: Implications for geochronology in metamorphic rocks. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 60(20): 3933-3947.
- Farmer G L and DePaolo D J. 1987. Nd and Sr isotope study of hydrothermally altered granite at San Manuel, Arizona; implications for element migration paths during the formation of porphyry copper ore deposits. *Economic Geology*, 182(5): 1142-1151.
- Holtz F, Johannes W, Tamic N et al. 2001. Maximum and minimum water contents of granitic melts generated in the crust: A reevaluation and implications. *Lithos*, 56(1): 1-14.
- Klimm K, Holtz F, Johannes W et al. 2003. Fractionation of metaluminous A-type granites: An experimental study of the Wangra suite, Lachlan fold belt, Australia. *Precambrian Research*, 124(2-4): 327-341.
- Lottermoser B G. 1991. Rare-earth elements and hydrothermal ore formation. *Ore Geology Reviews*, 7(1): 25-41.
- Ma C Q, Ehlers C, Xu C H et al. 2000. The roots of the Dabieshan ultrahigh-pressure metamorphic terrane: Constraints from geochemistry and Nd-Sr isotope systematics. *Precambrian Research*, 102(3-4): 279-301.
- Mao J W, Wang Y T, Lehmann B et al. 2006. Molybdenite Re-Os and albite $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating of Cu-Au-Mo and magnetite porphyry systems in the Yangtze River valley and metallogenic implications. *Ore Geology Reviews*, 29(3-4): 30-324.
- Sun S S and McDonough W F. 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: Implications for mantle composition and processes. *Geological Society, London, Special Publications*, 42(1): 313-345.
- Whalen J B, Currie K L and Chappell B W. 1987. A-type granites: Geochemical characteristics, discrimination and petrogenesis. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 95(4): 407-419.
- Yang J H, Chuang S L, Wilde S A et al. 2005. Petrogenesis of post-orogenic syenites in the Sulu orogenic belt, East

China: Geochronological, geochemical and Nd-Sr isotopic evidence. *Chemical Geology*, 214(1-2): 99-125.
Zhang S B, He Q and Zheng Y F. 2015. Geochronological and geochemical evidence for the nature of the Dongling complex in South China. *Precambrian Research*, 256: 17-30.

Discussion on the genesis of A-type granites in southern Lu-Zong Basin, Anhui Province, China

Du Xin¹ Wu Ming'an² Zhou Taofa¹ Zhang Shu^{1,3}
Zhang Zanzan³ Wang Jing^{3,4}

(1. School of Resources and Environmental Engineering, Hefei University of Technology, Hefei 230009; 2. Anhui Geology and Minerals Bureau, Hefei 230001; 3. Geological Survey of Anhui Province, Hefei 230001; 4. Department of Earth and Space Sciences, University of Science and Technology of China, Hefei 230026)

Abstract

The A-type granites, which are located in middle-lower reaches area of the Yangtze River, have a close relationship with uranium (gold) deposit. Some issues, particularly origin of the A-type granites, are still under debated. The related research to these A-type granites can enhance the genetic relationship with IOCG deposit, and provide the beneficial information regarding to the prospect direction. In this contribution of study, we systematically document the detailed investigation of three typical A-type granites, consisting of Chengshan, Hejiaao and Meilin intrusions. Combing with the previous results, comprehensive regional geological survey and geochemical analysis have been carried out to reveal the deeper insight with respect to the origin and forming processes of the A-type granites. We argue that the formation age of Chengshan, Hejiaao and Meilin intrusions is 127 Ma, which represents the latest magmatic event in the Lu-Zong Basin and forming in the lithosphere extension-thinning tectonic setting. These granites belong to A-type granites, which is caused by the comagmatic evolution. The original source is dominantly composed of epimetamorphic rock from likely Dongling Group, mixed with some mantle material, and fractional crystallization dominates the forming process, predominating by plagioclase and potassic feldspar.

Keywords Lu-Zong Basin, A-type granite, Zircon U-Pb dating, Sr-Nd isotope