

# 北淮阳早白垩世金刚台组火山岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄及地层对比

李鑫浩<sup>1,2</sup>, 高昕宇<sup>1</sup>, 张忠慧<sup>3</sup>, 方建华<sup>4</sup>, 赵太平<sup>1</sup>

(1.中国科学院 广州地球化学研究所 矿物学与成矿学重点实验室, 广东 广州 510640; 2.中国科学院大学, 北京 100049; 3.河南省山水地质旅游公司, 河南 郑州 450001; 4.河南省地质调查院, 河南 郑州 450001)

**摘要:** 金刚台组火山岩是北淮阳中生代火山岩带的重要组成部分。本文选取金刚台组流纹英安岩、英安岩和安山岩, 用 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 法进行年龄测定, 结果显示, 上述样品的成岩年龄分别为 127.5±0.6 Ma、124.8±2.3 Ma 和 123.3±0.7 Ma。表明金刚台组火山岩形成于早白垩世, 晚于商城岩体。北淮阳地区火山岩年龄统计结果表明, 该地区火山岩形成年龄相似, 均在 133.1~122 Ma。通过地层对比, 发现北淮阳地区早白垩世发育的大面积火山岩在火山活动类型和岩石组合成岩年龄等方面都十分一致, 火山活动以中心式喷发为主, 范围绵延整个北淮阳地区, 形成了北淮阳地区早白垩世火山岩带, 从西到东不存在时间上的先后关系, 但火山岩的酸性程度逐渐降低, 暗示其岩浆源区逐渐变深、地幔物质的参与逐渐增多。

**关键词:** 北淮阳; 金刚台组; 火山岩; LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄; 地层对比

中图分类号: P597 文献标志码: A 文章编号: 1001-1552(2015)04-0718-011

## 0 引言

大别造山带北缘即北淮阳地区广泛分布着晚中生代火山岩, 该火山岩带长逾 330 km, 宽 10~50 km, 大致以商城-金寨-晓天-舒城为中心分布, 西起河南信阳, 东至安徽六安, 与郟庐断裂带交接(图 1)。这一火山岩带在空间上呈近东西向展布, 与大别造山带的构造线方向一致, 并明显受到断裂带的控制, 夹在固始-合肥断裂和磨子潭-晓天断裂之间。北淮阳地区中生代火山岩的形成与扬子和华北克拉通的俯冲碰撞及其后续的伸展拉张作用密切相关(邱检生等, 2002), 而碰撞后的岩浆作用是反映构造演化

及壳-幔信息的重要内容。前人对大别地区火山岩进行过一定程度研究(杨为民和杨为根, 1995; 程安学, 1999; 吴海权, 2000; Wang et al., 2002; 李双应等, 2002; 邱检生等, 2002; 王岳军等, 2002; 吴海权等, 2002; 孔凡军和蒋永福, 2006; 韩燕峰等, 2010), 但和大别造山带的中生代花岗岩岩浆作用的研究相比, 北淮阳地区中生代火山岩的研究程度依然薄弱。

前人把北淮阳地区的中生代火山岩划分为 5 个火山构造单元, 自西向东依次为信阳火山沉积盆地、光山-商城火山沉积盆地、金刚台锥型火山群、霍山-舒城火山沉积盆地和磨子潭-晓天火山沉积

收稿日期: 2013-05-17; 改回日期: 2013-08-12

项目资助: 河南省地质调查院委托项目“河南信阳金刚台国家地质公园中生代岩浆岩研究”资助。

第一作者简介: 李鑫浩(1987-), 男, 硕士研究生, 矿物学、岩石学、矿床学专业。Email: lixinhao6765196@163.com

通信作者: 赵太平(1963-), 男, 研究员, 博士生导师, 岩石学专业。Email: tpzhao@gig.ac.cn

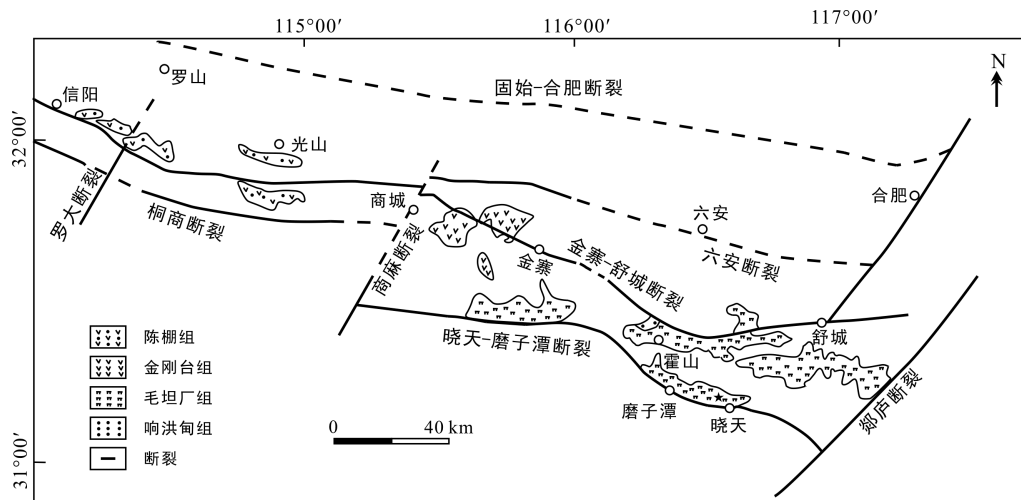


图1 北淮阳地区火山岩分布及构造格架图(据李双应, 2003 改)

Fig.1 Simplified tectonic map of the Beihuaiyang region showing the distribution of volcanic rocks

盆地(张鹏, 1998)。不同地区的地层分别为陈棚组、金刚台组、响洪甸组和毛坦厂组。已有的研究主要集中于火山岩带的东部(杨为民和杨为根, 1995; 程安学, 1999; 吴海权, 2000; Wang et al., 2002; 李双应等, 2002; 邱检生等, 2002; 王岳军等, 2002; 吴海权等, 2002; 孔凡军和蒋永福, 2006; 韩燕峰等, 2010)。对于西部的金刚台组火山岩, 前人主要侧重于研究火山岩的地质学、岩石学和岩石地球化学(刘文灿等, 1997; 张鹏等, 1997; 杜建国和张鹏, 1999; 杨泽强等, 2006), 精确的年龄数据相对较少。近年来有学者对金刚台组火山岩进行年代学研究(黄丹峰等, 2010; 黄皓和薛怀民, 2012), 但其采样位置多位于火山岩系的下部层位, 对其火山活动下限时间没有做出很好的限定。而且金刚台组火山岩与相邻产生的商城花岗质侵入岩之间的先后关系, 一直存在争议(刘振宏等, 1994; 杜建国和张鹏, 1999; 罗照华等, 2008)。北淮阳地区中生代火山岩也缺乏区域内的综合对比。因此, 在加强西部地区火山岩研究的基础上, 在区域内进行岩石学、年代学的综合对比对更好的理解北淮阳火山岩带具有重要作用。

本文在前人工作基础上, 对北淮阳地区西部的金刚台组火山岩进行精确的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年, 讨论了其与商城花岗质侵入岩的先后关系, 并在此基础上对北淮阳地区火山岩地层进行综合对比, 以更好地建立北淮阳地区中生代岩浆的时空格架, 为深入探讨北淮阳地区中生代岩浆作用规律提供依据。

## 1 地质背景

金刚台组火山岩位于北淮阳中生代火山岩带的西部(图 1), 地跨河南、安徽两省, 大致以金刚台和馒头寨为中心呈近圆形分布(图 2), 可分为东西两部分, 出露面积约 240 km<sup>2</sup> (刘文灿等, 1995)。金刚台组以火山碎屑岩为主体, 其中熔结凝灰岩、角砾晶屑凝灰岩占绝对优势。火山活动以中心式喷发为特征, 其复式火山机构由多个次级的锥状火山组成, 在火山喷发的不同部位分别保存有火山流动构造和火山角砾构造。

金刚台组火山岩周围出露的地层主要有下古生界佛子岭岩群、泥盆系花园墙组、上石炭统胡油坊组、杨小庄组、中侏罗统三尖铺组和第四系冲积层。区域侵入岩以早白垩世中晚期的中酸性侵入岩为主, 商城岩体为该区域较大的侵入岩体。早白垩世中晚期的中酸性岩体中偶见少量后期侵入的基性岩墙。

## 2 样品描述

本次选择了 3 个火山岩样品用于锆石定年, 分别为 JGT-1、JGT-10 和 JGT-80。

样品 JGT-1 为流纹英安岩, 采自金刚台组火山岩底部, 地理坐标为 N31°47'41.4", E115°44'22.9"。颜色为深灰色, 斑状结构, 块状构造。斑晶以斜长石为主, 少量钾长石、石英。镜下有明显的流动构造。样品 JGT-1 的大部分锆石都发育清晰、密集的振荡环带, 锆石中出现较多长柱状晶体(可达 30%), 长宽比最大可达 3:1(图 3a), Th/U 比值为 0.45~2.24, 具有典型的岩浆锆石特征。



介于 1918~117 Ma(表 1), 剔除 8 颗继承锆石, 其中 9 颗锆石年龄集中于 117~130 Ma, 获得加权平均年龄为  $123.3 \pm 2.7$  Ma, MSWD=3.5(图 3f)。8 颗继承锆石的年龄范围分为 2 段, 分别为: 1918~1766 Ma 和 474~402 Ma。古元古代继承锆石的发现, 反映金刚台组火山岩的物质来源有较老的地壳物质加入; 474~402 Ma 这个年龄段对应着商丹洋闭合引起的

一系列构造-热事件(Dong et al., 2011)。

从采自不同层位的 3 个样品的测年结果来看, 金刚台组火山岩形成时间从 123.3~127.5 Ma, 形成于早白垩世, 火山岩组底部年龄值在误差范围内与前人研究结果一致(129~127.6 Ma; 黄丹峰等, 2010; 黄皓和薛怀民, 2012)。金刚台组火山岩表现为多期次喷发形成, 但火山活动持续时间较短。

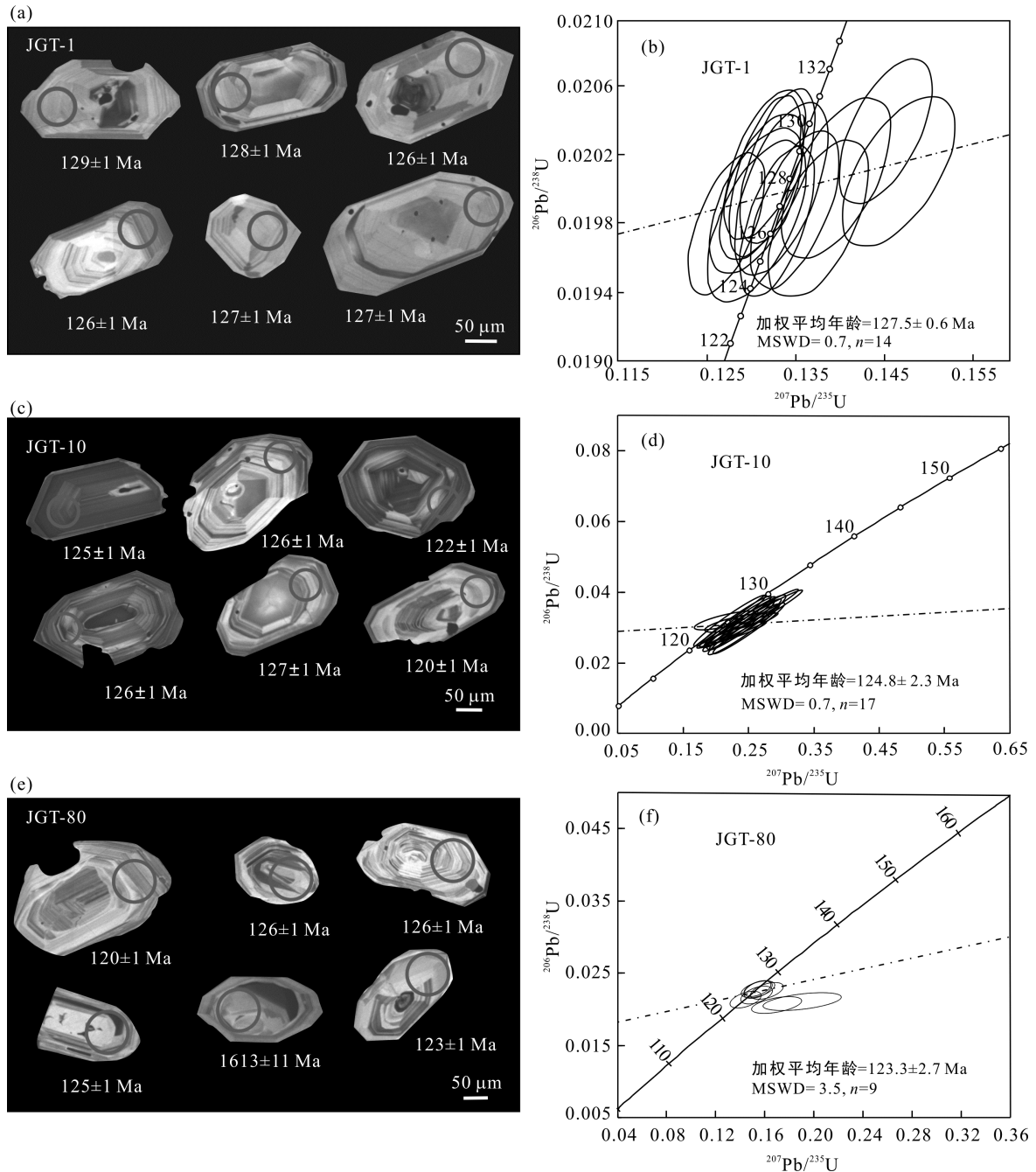


图 3 锆石阴极发光图像及 U-Pb 年龄谐和图

Fig.3 Cathodoluminescence (CL) images of the zircons from the volcanic rocks and the U-Pb concordant diagrams

表 1 金剛台組火山岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年数据  
Table 1 LA-ICP-MS zircon U-Pb dating results of the Jingangtai Formation

測試点	U ( $\mu\text{g/g}$ )	Th	Th/U	同位素比值				年齡(Ma)							
				$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$1\sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$1\sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$\sigma$		
JGT-1															
01	239	201	0.84	0.04675	0.00049	0.12720	0.00176	0.01979	0.00017	35.3	26	121.6	2	126.3	1
02	452	436	0.96	0.07721	0.00168	0.21891	0.00607	0.02028	0.00019	1128	43	201.0	54	129.4	1
03	149	132	0.89	0.04799	0.00037	0.13301	0.00174	0.02013	0.00018	98.2	19	126.8	2	128.5	1
04	252	224	0.89	0.05204	0.00069	0.14517	0.00217	0.02033	0.00017	287.1	30	137.6	2	129.7	1
05	384	437	1.14	0.05583	0.00140	0.15859	0.00394	0.02070	0.00016	455.6	57	149.5	3	132.1	1
06	265	524	1.98	0.22396	0.00790	0.96051	0.04916	0.02841	0.00050	3010	57	683.6	25	180.6	3
07	143	320	2.24	0.04751	0.00054	0.13150	0.00188	0.02013	0.00018	76.0	23	125.4	2	128.5	1
08	73.9	86.8	1.17	0.07728	0.00070	0.23117	0.00314	0.02171	0.00018	1128	18	211.2	3	138.4	1
09	329	614	1.87	0.04925	0.00050	0.13494	0.00205	0.01988	0.00018	166.8	8	128.5	2	126.9	1
10	200	182	0.91	0.04763	0.00032	0.13158	0.00165	0.02007	0.00019	79.7	17	125.5	1	128.1	1
11	155	69	0.45	0.04756	0.00059	0.13056	0.00215	0.01993	0.00017	76.0	25	124.6	2	127.2	1
12	282	202	0.71	0.04847	0.00056	0.13343	0.00216	0.02000	0.00020	124.2	28	127.2	2	127.6	1
13	347	238	0.68	0.05048	0.00064	0.12639	0.00193	0.01819	0.00015	216.7	34	120.9	2	116.2	1
14	195	365	1.83	0.11845	0.00548	0.38767	0.02151	0.02171	0.00031	1933	83	332.7	16	138.5	2
15	245	458	1.87	0.05268	0.00061	0.14664	0.00260	0.02010	0.00018	322.3	28	138.9	2	128.3	1
16	57.9	60.9	1.05	0.04763	0.00051	0.13121	0.00195	0.02001	0.00017	79.7	26	125.2	2	127.7	1
17	192	352	1.83	0.04870	0.00034	0.13294	0.00172	0.01981	0.00018	131.6	17	126.7	2	126.4	1
18	214	396	1.85	0.04791	0.00067	0.13065	0.00228	0.01981	0.00019	94.5	33	124.7	2	126.4	1
19	320	613	1.92	0.05076	0.00083	0.13960	0.00253	0.02006	0.00019	231.6	71	132.7	2	128.0	1
20	161	245	1.52	0.05040	0.00063	0.13762	0.00233	0.01981	0.00019	213.0	30	130.9	2	126.5	1
JGT-10															
01	446	501	1.12	0.04896	0.00036	0.1305	0.0016	0.01889	0.00016	211.2	17	124.6	2	120.5	1
02	314	244	0.78	0.05155	0.0006	0.14172	0.0023	0.01949	0.00016	307.8	30	133.6	2	124.3	1
03	389	222	0.57	0.04762	0.00034	0.12972	0.0016	0.01982	0.00016	76.4	16	122.9	1	126.4	1
04	142	227	1.60	0.04962	0.00058	0.14089	0.00176	0.02074	0.00016	164.9	22	133.8	2	132.3	1
05	266	198	0.74	0.04778	0.00046	0.13503	0.00168	0.01997	0.00015	141.2	18	127.6	2	127.3	1
06	382	293	0.77	0.04792	0.00051	0.13182	0.00186	0.01914	0.00017	190.8	17	125.7	2	122.2	1
07	394	194	0.49	0.04805	0.0003	0.1329	0.00169	0.01983	0.00015	122.6	16	125.7	12	126.4	1

续表 1:

测试点	U ( $\mu\text{g/g}$ )	Th	Th/U	同位素比值				年龄(Ma)						
				$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$1\sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$\sigma$			
JGT-10														
08	176	202	1.15	0.0045	0.13247	0.00168	0.01986	0.00016	107.9	14	125.4	2	126.7	1
09	370	207	0.56	0.00056	0.13156	0.002	0.01916	0.00016	183.4	21	125.5	2	122.3	1
10	376	196	0.52	0.00352	0.30208	0.04591	0.0214	0.00065	1571.5	311	267.1	14	136.4	4
11	239	164	0.69	0.00047	0.13908	0.0017	0.02032	0.00015	170.8	9	131.3	2	129.5	1
12	301	180	0.60	0.00059	0.12887	0.00159	0.01874	0.00015	187.1	19	123.1	2	119.7	1
13	389	237	0.61	0.00326	0.25766	0.01249	0.021	0.0002	1330.5	77	231.8	11	133.8	1
14	296	169	0.57	0.0059	0.38462	0.00568	0.02149	0.00019	2089.5	16	329.5	2	136.9	1
15	85.4	82.7	0.97	0.00079	0.13162	0.00187	0.01855	0.00017	264.9	20	125.5	2	118.5	1
16	287	202	0.70	0.00199	0.1712	0.00417	0.02054	0.00019	609.6	37	159.5	2	131	1
17	272	155	0.57	0.00061	0.138	0.00199	0.01974	0.00016	215.2	18	130.3	2	125.9	1
18	194	196	1.01	0.00068	0.13438	0.00228	0.01885	0.00017	287.1	36	128	2	120.4	1
19	355	282	0.79	0.00054	0.13364	0.00159	0.02	0.00015	115.3	48	126.4	2	127.6	1
20	365	360	0.99	0.00057	0.13084	0.00157	0.01992	0.00015	74.5	18	123.9	1	127	1
JGT-80														
01	123	697	5.67	0.00235	4.53410	0.05376	0.30594	0.00270	1766	7	1737	12	1721	13.
02	244	213	0.87	0.00062	0.13281	0.00191	0.01976	0.00016	200.1	19	126.6	2	126.2	1
03	114	417	3.65	0.00151	0.48557	0.00548	0.06431	0.00049	466.7	13	401.8	9	401.8	3
04	114	544	4.77	0.00189	2.99781	0.03426	0.23935	0.00208	1444	9	1407	18	1383	11
05	325	417	1.28	0.00781	0.15740	0.00445	0.01861	0.00017	638.9	50	148.4	24	118.9	1
06	358	205	0.57	0.00552	0.14318	0.00285	0.01829	0.00016	476.0	27	135.8	14	116.9	1
07	101	512	5.07	0.00159	0.54711	0.00721	0.07181	0.00070	433.4	13	443.1	19	447.1	4
08	115	437	3.80	0.00148	0.59385	0.00688	0.07632	0.00067	477.8	9	473.3	20	474.1	4
09	125	652	5.22	0.00135	0.48612	0.00704	0.06613	0.00055	342.5	24	402.3	18	412.8	3
10	446	502	1.13	0.00065	0.13774	0.00187	0.01961	0.00016	239.0	20	131.0	6	125.2	1
11	399	368	0.92	0.00056	0.13250	0.00153	0.01982	0.00015	127.8	17	126.3	2	126.5	1
12	413	483	1.17	0.00053	0.13205	0.00180	0.01922	0.00017	187.1	19	125.9	2	122.7	1
13	388	217	0.56	0.00175	0.12589	0.00177	0.01879	0.00016	1321.6	24.	120.4	5	120.0	1
14	314	409	1.30	0.00742	0.17881	0.00267	0.02045	0.00019	724.1	24	167.0	5	130.5	1
15	192	660	3.44	0.00168	0.57553	0.00631	0.07355	0.00057	483.4	11	461.6	9	457.5	3
16	158	652	4.13	0.00257	4.60378	0.04883	0.28434	0.00214	1918	9	1750	11	1613	11
17	121	117	0.97	0.00054	0.13284	0.00161	0.01974	0.00017	142.7	21	126.7	2	126.0	1

## 5 讨 论

### 5.1 金刚台地区早白垩世岩浆活动

早期的年代学研究认为金刚台组火山岩形成于晚侏罗世(刘文灿等, 1997; 张鹏等, 1997; 杜建国和张鹏, 1999), 而本次研究获得的金刚台组火山岩的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄表明金刚台组火山岩形成于早白垩世。

金刚台地区出露的商城岩体, 面积约 131 km<sup>2</sup> (刘文斌等, 2003), 主要分布在金刚台组火山岩的西北部, 两者接触关系不明。前人认为商城岩体晚于金刚台组火山岩(刘振宏等, 1994; 杜建国和张鹏, 1999), 而最近的年代学资料表明, 商城岩体的形成年龄为 141±2 Ma~137±2 Ma(高昕宇等, 2013)。在野外工作中, 我们也发现, 在商城岩体和金刚台组火山岩的接触部位, 有次火山岩脉侵入到商城岩体之内, 这些资料均表明金刚台组火山岩的喷发晚于商城岩体的侵入。因此, 在金刚台地区早白垩世的岩浆活动, 先是花岗质岩浆侵入形成商城岩体, 然后发生强烈的火山喷发作用, 形成金刚台组火山岩。

金刚台火山岩的形成年龄与大别地区早白垩世花岗质岩浆作用的峰期年龄(130~125 Ma, Xue et al., 1997; Hacker et al., 1998; Wei et al., 2001; 刘敦一等, 2002; 薛怀民等, 2002; Ma et al., 2004; Bryant et al., 2004; Xu et al., 2007; Zhao et al., 2007; 赵子福和郑永飞, 2009)一致。此外, 该年龄值也处在大别地区零星分布的早白垩世辉石岩-辉长岩侵入体、基性岩墙/脉和基性火山岩的岩浆活动峰值区内(130~120 Ma, Jahn et al., 1999; 李曙光等, 1999; Qiu et al., 2000; Fan et al., 2001, 2004; 王岳军等, 2002; 王江海和邓尚贤, 2002; Zhao et al., 2005; Wang et al., 2005)。可见, 金刚台组火山岩与大别地区早白垩世花岗质及

中、基性侵入岩和火山岩可能在同一大地构造背景及动力学条件下形成。

### 5.2 地层对比

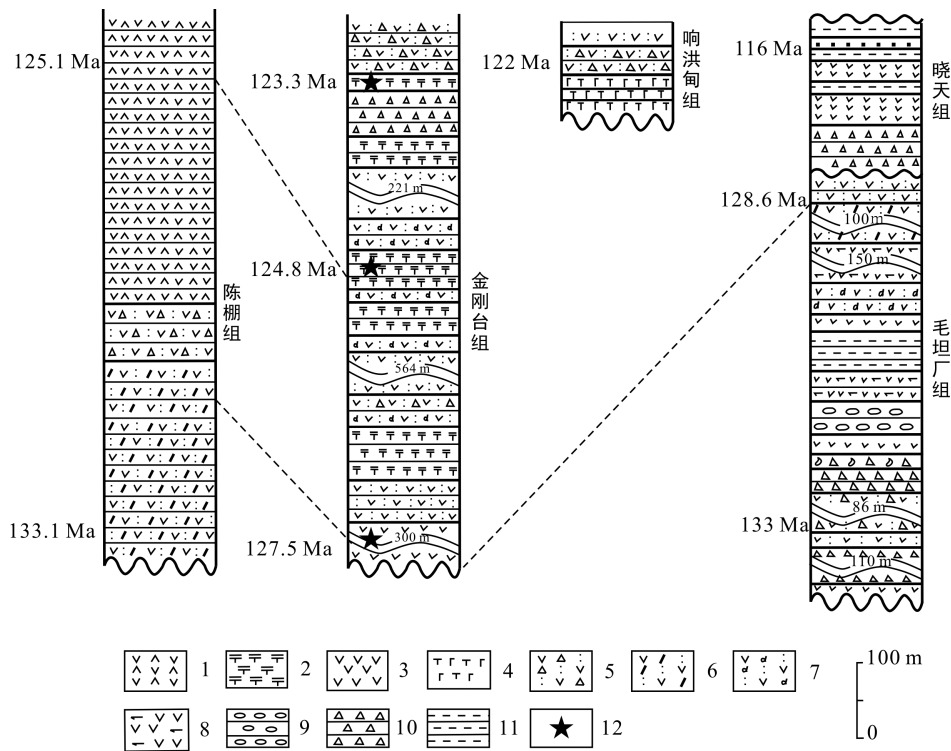
北淮阳地区分布着大面积的火山岩, 自西向东分别为陈棚组、金刚台组、响洪甸组、晓天组和毛坦厂组, 它们的年龄数据见表 2。从表 2 中可以看出, 北淮阳地区的火山活动相对比较集中, 为 133.1~122 Ma。

早白垩世, 北淮阳地区火山活动比较强烈, 在西北部, 形成了陈棚组(133.1~125.1 Ma)自下而上为爆发相、喷发-沉积相、溢流相; 在西南部, 形成了以爆发相为主, 伴随着熔岩溢出的金刚台组火山岩(127.5~123.3 Ma); 在中部形成了响洪甸组(122 Ma)的碱性火山岩; 在东部形成爆发相、喷发-沉积相交替不均匀出现的毛坦厂组(133~128.6 Ma)(图 4)。由此可见, 整个北淮阳地区的火山活动时间基本一致, 火山喷发时限在 133.1~122 Ma, 并不存在前人(杜建国和张鹏, 1999)提出的北淮阳地区火山岩从东到西岩浆岩成岩时代渐新、火山活动变弱的演化趋势。

从岩性来看, 西部以中酸性-酸性的粗安岩、英安岩和流纹岩为主, 是一套中偏酸性的岩石组合, 其地球化学特征类似于埃达克岩, 并被认为极可能起源于玄武质下地壳的部分熔融(潘国强等, 2001); 东部火山岩以中性-中酸性安山岩、粗安岩和粗面岩为主, 但同时发育有偏碱性的基性火山岩-碱性玄武岩和碱性火山岩-霞石正长岩(响洪甸组)和细晶-隐晶质中基性火山岩(晓天组), 这类岩石的出现表明东部火山岩应起源于上地幔, 该观点也得到其他学者的广泛认同(杜建国和张鹏, 1999; 谢芳贵等, 2000; 王岳军等, 2002; Fan et al., 2004)。因此, 北淮阳地区早白垩世火山岩具有从西到东酸度逐渐降低的趋势, 暗示其岩浆源区逐渐变深、地幔物质的参与逐渐增多。

表 2 北淮阳中生代火山岩年龄数据表  
Table 2 Ages of the Mesozoic volcanic rocks in the Beihuaiyang region

组名	岩性	测年结果(Ma)	测年方法	数据来源
陈棚组	英安岩	133.1±1.5	LA-ICP-MS锆石U-Pb	杨梅珍等, 2012
	流纹岩	125.1±1.5	LA-ICP-MS锆石U-Pb	黄皓和薛怀民, 2012
金刚台组	流纹英安岩	127.5±0.6	LA-ICP-MS锆石U-Pb	本文
	英安岩	124.8±2.3	LA-ICP-MS锆石U-Pb	本文
	熔结凝灰岩	123.3±0.7	LA-ICP-MS锆石U-Pb	本文
响洪甸组	霞石正长岩	122	<sup>39</sup> Ar- <sup>40</sup> Ar	周泰信等, 1992; 杨祝良和沈渭渊, 1999
晓天组	玄武岩	116	K-Ar	王岳军等, 2002
毛坦厂组	粗安岩	128.6±0.6	LA-ICP-MS锆石U-Pb	黄皓和薛怀民, 2012
	玄武岩	130±2	SIMS锆石U-Pb	夏群科等, 2003
	安山岩	133±3	SIMS锆石U-Pb	夏群科等, 2003



1. 安山玢岩; 2. 粗安岩; 3. 安山岩; 4. 碱性玄武岩; 5. 角砾凝灰岩; 6. 晶屑凝灰岩; 7. 沉凝灰岩; 8. 辉石安山岩; 9. 砾岩; 10. 角砾岩; 11. 泥岩; 12. 采样点。

图 4 北淮阳地区火山岩地层柱状对比图

Fig. 4 Stratigraphic correlation of the volcanic rocks in the Beihuaiyang region

位于北淮阳地区火山岩带西部和东部的金刚台组和毛坦厂组火山岩的喷发类型十分相似, 均以中心式的剧烈喷发为主。它们在岩石组合以及地貌上也很相似: (1)在岩石组合上, 毛坦厂组和金刚台组均主要由熔岩、火山碎屑岩、通道相的安山玢岩组成, 且火山碎屑岩分布最广, 占地层岩石总量的比重最大; (2)在地貌上, 中心式喷发使两者都形成了火山锥地貌。毛坦厂组和金刚台组火山岩有一明显的不同, 毛坦厂组发育有沉积岩夹层, 分别为厚约 40 m 的砾岩层和厚约 50 m 的泥岩层, 说明毛坦厂组火山岩为多期次喷发形成, 且间歇期较长。

综合分析可以发现, 北淮阳地区早白垩世发育的大面积火山岩带的东部和西部火山岩特征较相似, 如金刚台组火山岩和毛坦厂组火山岩在火山活动类型、岩石组合、成岩年龄等方面都十分吻合, 由此推测在早白垩世, 北淮阳地区发生一次大规模的火山活动, 此火山活动以中心式喷发为主, 范围绵延整个北淮阳地区, 直接形成了北淮阳地区大面积的火山岩。

## 6 结 论

(1) 金刚台组火山岩以火山碎屑岩为主体, 形

成于  $127.5 \pm 0.6 \sim 123.3 \pm 0.7$  Ma, 表明火山岩是在较短的时间内喷发形成的。

(2) 年龄对比结果表明, 金刚台组火山岩活动时间晚于商城岩体, 并不整合覆盖在商城岩体之上。

(3) 早白垩世北淮阳地区发生一次大规模的火山活动, 范围绵延整个北淮阳地区, 从西到东, 火山活动时间近于一致, 但火山岩酸性程度逐渐降低, 表明其岩浆源区有逐渐变深、地幔物质参与逐渐增多的变化趋势。

致谢: 感谢胡国辉和周艳艳博士在 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 分析测试过程中的帮助。两位审稿人对论文进行了全面仔细的审阅, 提出了宝贵的修改意见, 使论文质量得到了很大提高, 在此表示衷心感谢。

### 参考文献(References):

程安学. 1999. 北淮阳地区中生代岩浆活动及构造环境. 安徽地质, 9(3): 178-184.  
 杜建国, 张鹏. 1999. 大别造山带北部的中生代火山岩. 现代地质, 13(1): 57-65.  
 高昕宇, 赵太平, 施小斌, 包志伟. 2013. 大别山北麓早白垩世商城和达权店岩体的地球化学特征与成因.



- 地球化学, 42(4): 307-339.
- 韩燕峰, 李悦辉, 雷大景. 2010. 大别山北麓天梯-皇城山一带中生代火山岩成矿系列研究. 华南地质与矿产, (2): 29-35.
- 黄丹峰, 罗照华, 卢欣祥. 2010. 大别山北缘金刚台火山岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄及构造意义. 地学前缘, 17(1): 1-10.
- 黄皓, 薛怀民. 2012. 北淮阳早白垩世金刚台组火山岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄及其地址意义. 岩石矿物学杂志, 31(3): 371-381.
- 孔凡军, 蒋永福. 2006. 大别山北缘火山岩地球化学特征及构造环境意义. 安徽地质, 9(3): 178-184.
- 李曙光, 洪吉安, 李惠民, 江来利. 1999. 大别山辉石岩-辉长岩体的锆石 U-Pb 年龄及其地质意义. 高校地质学报, 5(3): 351-355.
- 李双应, 岳书仓, 王道轩, 刘因, 李任伟, 孟庆任, 金福全. 2002. 大别造山带北缘中生代地层格架厘定. 地层学杂志, 26(3): 178-186.
- 李双应. 2003. 大别造山带北缘中生代沉积学、盆地分析和构造演化. 合肥工业大学博士学位论文: 1-156.
- 刘敦一, 汤加富, 周存亭, 高天山, 沈荷生, 杨淳. 2002. 大别造山带核部桃园寨火山岩锆石 U-Pb 定年及其地质意义. 地质学报, 76(2): 217-221.
- 刘文斌, 刘振宏, 张世俊. 2003. 河南商城岩体地质地球化学特征及成因意义. 华南地质与矿产, (4): 7-23.
- 刘文灿, 马文璞, 谭应佳, 王果胜, 李家振, 张鹏. 1995. 1:5 万苏仙石幅-金寨县幅区域地质调查报告: 1-194.
- 刘文灿, 孙善平, 李家振. 1997. 大别山北麓晚侏罗世金刚台组火山岩地质及岩相构造特征. 现代地质, 11(2): 237-243.
- 刘振宏, 彭松民, 白朝军. 1994. 商城岩体岩石学特征及其成因探讨. 河南地质, 12(2): 110-118.
- 罗照华, 张良, 张忠慧, 方建华, 黄丹峰. 2008. 河南信阳金刚台国家地质公园火山岩景观研究报告: 1-161.
- 潘国强, 陆现彩, 于航波. 2001. 北淮阳中生代 adakite 岩石地球化学特征及成因讨论. 岩石学报, 17(4): 541-550.
- 邱检生, 王德滋, 刘洪, 凌文黎. 2002. 大别造山带北缘后碰撞富钾火山岩: 地球化学与岩石成因. 岩石学报, 18(3): 319-330.
- 王江海, 邓尚贤. 2002. 湖北北大别镁铁-超镁铁质侵入体的时代: 锆石 U-Pb, Sm-Nd 和  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  定年结果. 中国科学(D辑), 32(1): 1-10.
- 王岳军, 范蔚茗, 郭锋. 2002. 北淮阳晚中生代火山岩定年及火山砾石地球化学: 对大别灰色片麻岩隆升和中生代地层格架的约束. 科学通报, 47(20): 1528-1534.
- 吴海权, 江来利, 戴圣潜. 2002. 安徽霍山-毛坦厂地区中生代地层序的厘定. 地层学杂志, 26(1): 39-45.
- 吴海权. 2000. 安徽霍山戴家河-六安毛坦厂地区中生代的火山作用. 安徽地质, 10(4): 252-260.
- 夏群科, 郑永飞, Deloule E. 2003. 大别山碰撞后火山岩的锆石 U-Pb 年龄和氧同位素组成. 高校地质学报, 9(2): 163-171.
- 谢芳贵, 杨祝良, 沈加林, 陶圭元. 2000. 大别山北缘中生代火山侵入杂岩地球化学特征. 火山地质与矿产, 21(3): 179-188.
- 谢烈文, 张艳斌, 张辉煌, 孙金凤, 吴福元. 2008. 锆石/斜锆石 U-Pb 和 Lu-Hf 同位素以及微量元素成分的同时原位测定. 科学通报, 53(2): 220-228.
- 薛怀民, 董树文, 刘晓春. 2002. 北大别东部白垩纪埃达克质火山岩及其锆石 U-Pb 年代学. 地球化学, 31(5): 455-463.
- 杨梅珍, 曾建年, 任爱琴, 陆建培, 谭永军, 李法岭. 2012. 大别山北缘西段双桥中生代火山岩地球化学及锆石 U-Pb 同位素年代学. 高校地质学报, 9(2): 163-171.
- 杨为民, 杨友根. 1995. 北淮阳地区的中生界. 安徽地质, 5(4): 11-17.
- 杨泽强, 彭翼, 万守全, 王云. 2006. 大别山金刚台国家地质公园的火山岩相构造. 地质调查与研究, 29(2): 86-91.
- 杨祝良, 沈渭洲. 1999. 大别山北缘中生代火山-侵入岩铅同位素组成特征及其地质意义. 高校地质学报, 5(4): 384-389.
- 张鹏, 张爱民, 刘文灿. 1997. 北淮阳晚侏罗世金刚台组火山岩岩石化学和地球化学特征及构造环境. 现代地质, 11(2): 244-252.
- 张鹏. 1998. 北淮阳地区中生代火山活动及其构造背景. 安徽地质, 8(3): 10-15.
- 赵子福, 郑永飞. 2009. 俯冲大陆岩石圈重熔: 大别-苏鲁造山带中生代岩浆岩成因. 中国科学(D辑), 39(7): 888-909.
- Bryant D L, Ayers J C, Gao S, Miller C F and Zhang H F. 2004. Geochemical age and isotopic constraints on the location of the Sino-Korean/Yangtze Suture and evolution of the Northern Dabie complex, east central China. *Geological Society of America*, 116(5-6): 698-717.
- Dong Y P, Zhang G W, Franz N, Liu X M, Johann G and Christoph H. 2011. Tectonic evolution of the Qinling orogen, China: Review and synthesis. *Journal of Asian Earth Sciences*, 41: 213-237.
- Fan W M, Guo F, Wang Y J and Zhang M. 2004. Late Mesozoic volcanism in the northern Huaiyang

- tectono-magmatic belt, central China: Partial melts from a lithospheric mantle with subducted continental crust relicts beneath the Dabie orogen? *Chemical Geology*, 209(1–2): 27–48.
- Fan W M, Guo F, Wang Y J, Lin G and Zhang M. 2001. Post-orogenic bimodal volcanism along the Sulu orogenic belt in eastern China. *Physics and Chemistry of Earth (A)*, 26(9–10): 733–746.
- Hacker B R, Ratschbacher L, Webb L, Ireland T, Walker D and Dong S W. 1998. U/Pb zircon ages constrain the architecture of the ultrahigh-pressure Qinling-Dabie orogen, China. *Earth and Planetary Science Letters*, 161(1–4): 215–230.
- Jahn B M, Wu F Y, Lo C H and Tsai C H. 1999. Crustal-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. *Chemical Geology*, 157(1–2): 119–146.
- Jackson S E, Pearson N J, Griffin W L and Belousova E A. 2004. The application of laser ablation microprobe-inductively coupled plasma-mass spectrometry (LAM-ICP-MS) to in situ U-Pb zircon geochronology. *Chemical Geology*, 211: 47–69.
- Ma C Q, Yang K G, Ming H L and Lin G C. 2004. The timing of tectonic transition from compression to extension in Dabieshan: Evidence from Mesozoic granites. *Science in China (Series D)*, 47(5): 453–462.
- Qiu Y M, Gao S, McNaughton N J, Groves D I and Ling W L. 2000. First evidence of  $\geq 3.2$  Ga continental crust in the Yangtze craton of south China and its implications for Archean crustal evolution and Phanerozoic tectonics. *Geology*, 28(1): 11–14.
- Wang Y J, Fan W M and Guo F. 2002. K-Ar dating of late Mesozoic volcanism and geochemistry of volcanic gravels in the North Huaiyang Belt, Dabie orogen: Constraints on the stratigraphic framework and exhumation of the northern Dabie orthogneiss complex. *Chinese Science Bulletin*, 47(20): 1688–1695.
- Wang Y J, Fan W M, Peng T P, Zhang H F and Guo F. 2005. Nature of the Mesozoic lithospheric mantle and tectonic decoupling beneath the Dabie Orogen, Central China: Evidence from  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  geochronology, elemental and Sr-Nd-Pb isotopic compositions of early Cretaceous mafic igneous rocks. *Chemical Geology*, 220(3–4): 165–189.
- Wei C J, Zhang L F and Wang S G. 2001. Mesozoic high-K granitic rocks from the eastern Dabie Mountains, Central China and their geological implications. *Science in China (Series D)*, 44(6): 525–534.
- Xu H J, Ma C Q and Ye K. 2007. Early Cretaceous granitoids and their implications for Collapse of the Dabie orogen, Eastern China: SHRIMP zircon U-Pb dating and geochemistry. *Chemical Geology*, 240(3–4): 238–259.
- Xue F, Rowley D B, Tucker R D and Peng Z X. 1997. U-Pb zircon ages of granitoid rocks in the north Dabie complex, eastern Dabie Shan, China. *Journal of Geology*, 105(6): 744–753.
- Zhao Z F, Zheng Y F, Wei C S and Wu Y B. 2007. Post-collisional granitoids from the Dabie orogen in China: Zircon U-Pb age, element and O isotope evidence for recycling of subducted continental crust. *Lithos*, 93(3–4): 248–272.
- Zhao Z F, Zheng Y F, Wei C S, Wu Y B, Chen F K and Jahn B M. 2005. Zircon U-Pb age, element and C-O isotope geochemistry of post-collisional mafic-ultramafic rocks from the Dabie orogen in east-central China. *Lithos*, 83(1–2): 1–28.

## LA-ICP-MS Zircon U-Pb Dating of Volcanic Rocks from the Jingangtai Formation and Stratigraphic Comparison

LI Xinhao<sup>1,2</sup>, GAO Xinyu<sup>1</sup>, ZHANG Zhonghui<sup>3</sup>, FANG Jianhua<sup>4</sup> and ZHAO Taiping<sup>1</sup>

(1. CAS Key Laboratory of Mineralogy and Metallogeny, Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, Guangdong, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. Geological Tourism Landscape Company of Henan Province, Zhengzhou 450001, Henan, China; 4. Henan Institute of Geological Survey, Zhengzhou 450001, Henan, China)

**Abstract:** Volcanic rocks of the Jingangtai Formation are important part of the Beihuaiyang Mesozoic volcanic rock belt. Rhyodacite, dacite, and andesite samples were selected from the Jingangtai Formation for LA-ICP-MS zircon U-Pb dating. The results show that they were formed at  $127.5\pm 0.6$  Ma,  $124.8\pm 2.3$  Ma and  $123.3\pm 0.7$  Ma, respectively, suggesting that volcanic rocks of the Jingangtai Formation were formed in the early Cretaceous. Combined with previously published data of the other volcanic rocks from the Beihuaiyang region, we found that volcanic rocks from this region all formed between 133.1 Ma and 122 Ma. The widely distributed volcanic rocks from the Beihuaiyang region were comparable in the types of volcanic activities, rock assemblages and ages through stratigraphic comparison, implying that a large-scale volcanic activity in the early Cretaceous in the region. The volcanic activity was mainly of central vent eruption, which formed the Beihuaiyang volcanic rock belt. These volcanic rocks become less felsic eastward, indicating increased mantle material input and gradually deeper magma sources.

**Keywords:** Bei Huaiyang; Jingangtai Formation; volcanic rocks; LA-ICP-MS zircon U-Pb dating; stratigraphic comparison

## 《大地构造与成矿学》2015 年（第 39 卷）第 5 期预目 (2015 年 10 月 15 日出版发行)

### ● 构造地质学

新疆富蕴断裂带枢纽运动的有限元数值模拟研究……………高翔, 邓起东, 陈汉林, 洪汉净  
深圳市横岗-罗湖断裂中南段活动特征及现今构造变形监测

……………雷东宁, 姚运生, 但卫, 蔡永建, 曾佐勋, 余松  
蒙古国塔木察格盆地南贝尔凹陷早白垩世断裂发育和盆地演化

……………刘绍军, 高庚, 朱德丰, 吴根耀, 王金奎, 张革, 孙效东, 刘赫, 李春柏, 李强  
琼东南盆地断裂系统特征与演化……………谢玉洪, 童传新, 范彩伟, 宋鹏, 张昊, 童亨茂  
库车前陆冲断带低渗砂岩的裂缝发育模式

……………孙雄伟, 侯贵廷, 于璇, 魏红兴, 莫涛, 周露, 谢亚妮, 罗海宁  
渤海湾盆地沙北地区结构构造及其演化分析……………陈树光, 任建业, 辛云路, 张建丽, 吴峰

### ● 构造地质与成矿学

胶东与白垩纪花岗岩有关的金及有色金属矿床成矿系列……………宋明春, 宋英昕, 李杰, 李世勇  
相山铀矿田矿体形态分类及成因意义……………张万良

贵州铜仁卜口场铅锌矿 Rb-Sr 与 Sm-Nd 同位素年龄及其地质意义  
……………杨红梅, 刘重芄, 段瑞春, 顾晓敏, 卢山松, 谭娟娟, 蔡应雄, 张利国, 邱啸飞

四川会东油房沟铜矿 Re-Os 同位素定年及其地质意义

……………蒋小芳, 王生伟, 廖震文, 周清, 郭阳, 王子正, 周邦国

### ● 岩石大地构造与地球化学

西准噶尔谢米斯台山东段早石炭世玄武安山岩的成因及意义

……………尹继元, 陈文, 袁超, 肖文交, 龙晓平, 蔡克大  
闽西南晚古生代以来伸展构造演化: 中基性岩墙群的年代学、地球化学制约

……………王森, 张达, 吕良冀, Absai Vatuva, 狄永军, 闫鹏程, 林全胜, 张林阔, 马帅, 袁远  
海南白垩纪六罗村组火山岩的年代学、地球化学特征及其大地构造意义

……………周云, 梁新权, 梁细荣, 蒋英, 付建刚, 王策, 董超阁, 邹水长  
青藏高原东南缘腾冲来利山 A 型花岗岩地球化学特征、锆石 U-Pb 定年及其构造意义

……………林进展, 曹华文, 张寿庭, 刘瑞萍, 肖常先, 杨宽