

云南宁蒗光马山二长斑岩岩石地球化学及锆石U-Pb年龄

王宏¹, 张锦让¹, 周清¹, 孙志明¹, 王一伟², 陈刚²

WANG Hong¹, ZHANG Jinrang¹, ZHOU Qing¹, SUN Zhiming¹, WANG Yiwei², CHEN Gang²

1. 中国地质调查局成都地质调查中心, 四川 成都 610081;

2. 四川省地质矿产勘查开发局川西北地质队, 四川 绵阳 621000

1. Chengdu Center, China Geological Survey, Chengdu 610081, Sichuan, China;

2. Northwest Sichuan Geological Party, Bureau of Geology and Mineral Resources Exploration of Sichuan Province, Mianyang 621000, Sichuan, China

摘要: 宁蒗光马山二长斑岩位于扬子陆块西缘、金沙江断裂带小金河断裂与宾川-程海断裂夹持部位。通过对宁蒗光马山二长斑岩进行锆石U-Pb定年, 获得年龄为 33.37 ± 0.26 Ma (MSWD=1.7, 1 σ), 表明其形成时代为渐新世早期, 与盐源-丽江富碱斑岩带主体侵入时代一致。岩石SiO₂含量为61.55%~69.13%, 全碱(Na₂O+K₂O)含量为8.85%~10.92%, N/K值为0.88~1.07, A/NK值为1.54~1.84, A/CNK值为1.23~1.72, 属过铝质碱性石英二长斑岩。同时富集轻稀土元素、亏损重稀土元素, 高La/Yb值, 低Y、Yb和镁值(Mg[#]<0.5), 表明其具有大陆型或钾质C型埃达克岩的特征。该岩石可能形成于区内加厚地壳变泥质岩部分熔融, 其起源演化受金沙江-红河走滑断裂系控制, 是新生代印度-欧亚板块碰撞后伸展构造背景的产物。

关键词: 锆石U-Pb定年; 地球化学; 二长斑岩; 宁蒗

中图分类号: P597+.3; P588.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-2552(2019)11-1858-09

Wang H, Zhang J R, Zhou Q, Sun Z M, Wang Y W, Chen G. Zircon U-Pb age and geochemistry of the Guangmashan monzonitic porphyry in Ninglang, Yunnan Province. Geological Bulletin of China, 2019, 38(11):1858-1866

Abstract: The Guangmashan monzonitic porphyry in Ninglang is located between Xiaojinhe and Binchuan-Chenhai faults in western Yangtze block. In this paper, the authors carried out LA-ICP-MS zircon U-Pb dating for the monzonite porphyry and obtained a weighted mean age of 33.37 ± 0.26 Ma, suggesting Oligocene, which is consistent with the main formation age of Lijiang-Beiya alkali-rich porphyritic belt. The monzonite porphyry shows peraluminous alkaline affinities, with SiO₂ content of 61.55%~69.13%, (Na₂O+K₂O) content of 8.85%~10.92%, N/K ratio of 0.88~1.07, A/NK ratio of 1.54~1.84, and A/CNK ratio of 1.23~1.72. It is also enriched in LREE but depleted in HREE, with high ratio La/Yb, low Y and Yb content, and low values of Mg[#] (<0.5). The porphyry shows continent-type potassium C-type adakite characteristics, and might have been derived by partial melting of the thickened lower crust caused by Jinshajiang-Red River strike-slip fault system, formed in an extensional setting at post-collisional stage, caused by the collision between the India and Eurasian blocks.

Key words: zircon U-Pb age; geochemistry; monzonitic porphyry; Ninglang

滇西哀牢山-金沙江-红河富碱侵入岩带是中国重要的巨型构造-岩浆-多金属成矿带, 沿哀牢

山-金沙江-红河走滑断裂及两侧延伸展布于青藏高原东南缘, 是印度-欧亚板块晚碰撞造山作用在

收稿日期: 2018-08-09; 修订日期: 2018-10-10

资助项目: 中国地质调查局项目《龙门山-滇中成矿带通安和宁蒗地区地质矿产调查》(编号: DD20160017) 和《三江造山带昌都-澜沧地区区域地质调查》(编号: DD20190053)

作者简介: 王宏(1985-), 男, 硕士, 工程师, 矿物学、岩石学、矿床学专业。E-mail: wangh1213@sina.com

滇西地区的响应^[1-3]。目前在该成矿带上已陆续发现了一批富碱斑岩体及与之相关的斑岩型铜金多金属矿床,如北衙超大型金多金属矿床、玉龙超大型铜矿床、马厂箐铜钼金矿床等。前人研究认为,该带的富碱斑岩多数为钾玄岩系列,部分为高钾钙碱性系列,以高钾为特征,而成矿的富碱斑岩则多具有埃达克质岩性质(玉龙富碱斑岩体^[4-5]、北衙富碱斑岩体^[6-8])也有学者认为具有A型花岗岩类特征(马厂箐含矿富碱岩体)^[9]。云南宁蒗地区新生代斑岩体位于金沙江断裂带小金河断裂与宾川-程海断裂夹持部位,其与北侧的盐源西范坪斑岩体、南侧的永胜分水岭斑岩体、鹤庆北衙斑岩体等均是滇西丽江地区新生代富碱斑岩带的重要组成部分。这些富碱斑岩体的形成演化及成矿记录了滇西新生代大地构造演化及成矿作用的关键过程。自20世纪90年代以来,众多地质学家在该区开展了地质矿产研究,发表了有关该区富碱斑岩特征、岩石成因、成矿作用等方面的研究成果,但研究多集中于盐

源-丽江铜金成矿带南段,对丽江北部永胜-宁蒗地区研究较薄弱,特别是对斑岩体岩类特征、形成时代、地球化学等缺乏精确的数据,制约了对该区构造岩浆作用和成矿作用的正确认识。本文通过对宁蒗光马山斑岩体的年代学和地球化学特征研究,探讨其形成时代、岩石成因及构造背景的指示意义,为盐源-丽江铜金成矿带新生代构造-岩浆-成矿作用研究提供基础支撑。

1 地质概况和岩体特征

光马山斑岩体地处丽江市宁蒗县新营盘乡光马山-四方村一带,主体出露于光马山。大地构造位置上,斑岩体位于扬子陆块西缘丽江-盐源陆缘褶断带。受喜山期印度-欧亚板块碰撞的远程效益影响及新生代金沙江-红河大规模走滑断裂系统的控制,区内构造-岩浆活动强烈,奠定了成岩成矿的物质基础。研究区构造形迹以断裂为主,发育北东向、北西向和近南北向3组断层。

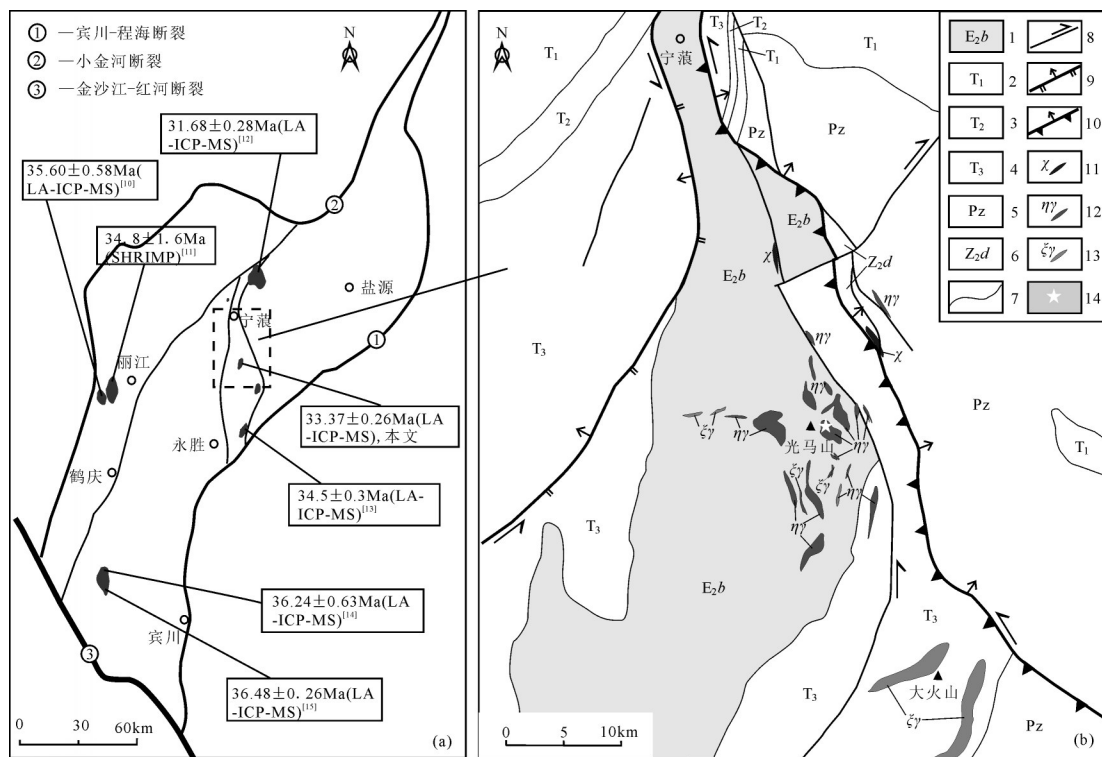


图1 丽江-盐源构造带岩浆岩及主要定年结果分布(a)和宁蒗地区地质简图(b)

Fig. 1 Distribution of the main magma dating results of the Lijiang-Yanyuan tectonic zone (a) and geological map of the Ninglang area (b)

1—始新统宝相寺组砾岩、砂岩及泥岩;2—下三叠统青天堡组砂岩夹泥岩、底部砾岩;3—中三叠统北衙组、中窝组灰岩、白云质灰岩夹砂页岩;4—上三叠统松桂组、白土田组砂岩、粉砂岩、泥岩夹煤线;5—古生界碳酸盐岩,夹砂岩,顶部为玄武岩、玄武质凝灰岩;6—上震旦统灯影组白云岩;7—地质界线;8—走滑断层;9—逆冲断层;10—逆冲推覆断裂;11—煌斑岩;12—二长斑岩;13—正长斑岩;14—采样位置

光马山斑岩由十余个斑岩体组成(图1),多呈岩株和岩墙状产出,形态不规则,侵位主要受近南北向断裂控制。侵位地层主要为古近系宝相寺组,岩性为紫灰色、紫红色中厚层状泥岩及砂岩、含砾砂岩。光马山斑岩岩性以(石英)二长斑岩和正长斑岩为主,岩体内接触带发育钾硅酸盐化(图2-a)、外接触带发育角岩化、硅化、黄铁矿化、褐铁矿化(图2-b),预示可能具有斑岩型铜、金矿床的成矿远景。岩石地球化学特征属于过铝质碱性岩系列,与金沙江-红河富碱斑岩带碱性斑岩相似^[10]。

2 岩相学特征

研究区富碱斑岩岩石类型丰富,主要有二长斑岩、正长斑岩、煌斑岩及云煌斑岩。本次采样及研究岩体为石英二长斑岩,呈浅肉红色,斑状结构,块状构造,手标本可见明显的石英和长石斑晶(图2-a),含量变化较大,斑晶含量25%~65%不等。镜下

薄片鉴定,斑晶主要为钾长石、斜长石,次为石英、黑云母。其中钾长石斑晶呈半自形-自形板柱状,卡氏双晶发育,粒度(长轴)1~8mm,含量10%~30%;斜长石斑晶呈半自形-自形板状,聚片双晶发育,粒度(长轴)0.5~5mm,含量15%~30%;石英多呈他形粒状,具熔蚀结构边,表面见裂纹,粒度(长轴)0.2~3.5mm,含量3%~8%;黑云母呈片状、长条状,少量发生绿泥石化,具褐色-浅褐色多色性,解理完全,片径0.15~2.5 mm,含量占1%~4%。基质具微晶-隐晶质结构,主要由钾长石(12%~30%)、斜长石(18%~32%)、石英(3%~12%)和少量黑云母(3%)组成。副矿物有磁铁矿、绿帘石、锆石、榍石、磷灰石等。

3 分析方法

3.1 锆石 U-Pb 定年分析

PM15b5 样品采自光马山西北坡,为石英二长斑岩。锆石的分选、制靶及阴极发光图像分析在河

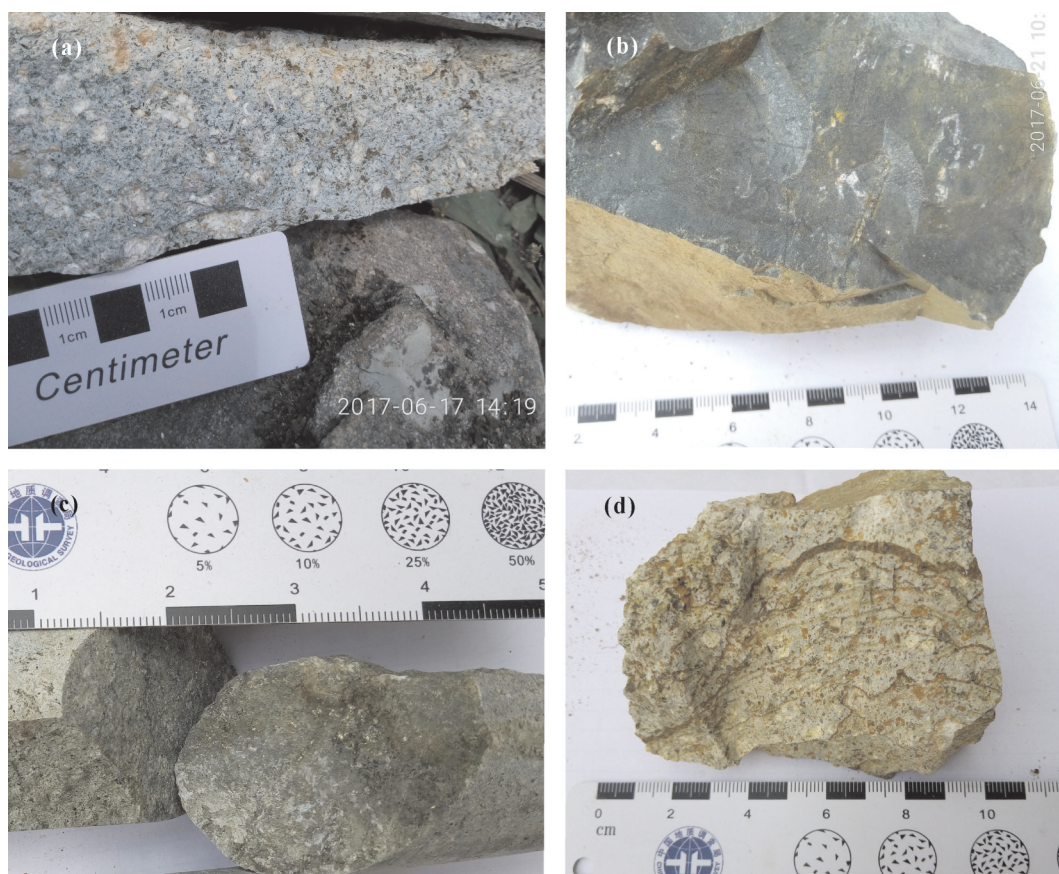


图2 光马山二长斑岩钾硅酸盐化(a)、角岩化(b)、黄铁矿化(c)和褐铁矿化(d)

Fig. 2 The alterations of the monzonite porphyry including potassium-silication (a), hornfelsed alteration (b), pyritization (c) and ferritization (d)

北省廊坊区域地质调查研究所完成。样品经破碎后,采用重力和磁选法分选,再在双目镜下挑纯,后将锆石置于环氧树脂样靶中,经打磨、抛光后进行透射光、反射光和阴极发光照相。LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年在中国地质大学(武汉)完成,分析仪器为联机的相干 193nm 准分子激光剥蚀系统(GeoLasPro)和安捷伦电感耦合等离子体质谱仪(Agilent 7700)。测量过程中采用直径 $32\mu\text{m}$ 的激光斑束,微量元素校正标准样品为 NIST 610,同位素比值校正标准样品为 91500,同位素比值监控标准样品为 GJ-1。分析数据采用 Glitter 软件进行处理,年龄加权平均值为和谐和图用 Isoplot3.0^[16] 进行计算和绘制。

3.2 地球化学分析

野外从岩体内部向外依次采集了 6 块新鲜的石英二长斑岩岩石样品。主量、微量元素测试分析在成都地质调查中心重点实验室完成。新鲜样品在无污染条件下粉碎至 200 目以下。主量元素采用 X 荧光光谱法(XRF),测试仪器为 PANalytical 生产的 AXIOS 荧光光谱仪,分析误差优于 5%。全岩微量元素含量利用 Agilent 7500a ICP-MS 分析完成,具体的分析测试方法见靳新娣等^[17]。

4 分析结果

4.1 锆石 U-Pb 定年

光马山石英二长斑岩样品(PM15b5)的锆石 U-Pb 同位素测量值和表面年龄见表 1。其中 30 粒

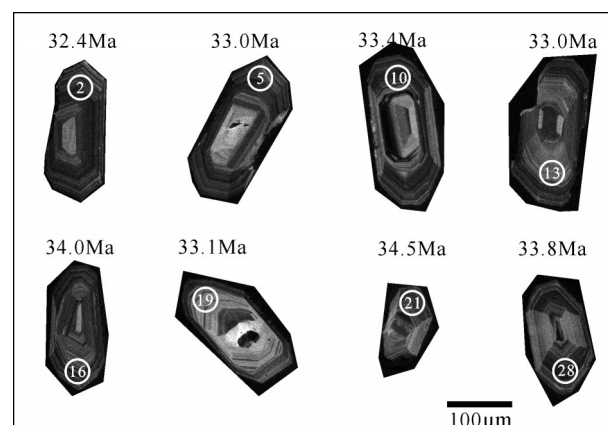


图 3 光马山二长斑岩代表性锆石阴极发光图像

Fig. 3 Cathodoluminescence images of representative zircons from the Guangmashan monzonite porphyry

锆石为浅黄色,多呈长柱状、少量短柱状,裂隙不发育,晶形自形度好,长宽比为 1.3~2.8,粒长 110~160 μm 。阴极发光(CL)图像具有清晰的振荡环带结构,显示典型的岩浆成因锆石特征(图 3)。

锆石 U-Pb 同位素测试结果显示,分析点均具有中等的 Th ($268 \times 10^{-6} \sim 903 \times 10^{-6}$)、U ($245 \times 10^{-6} \sim 959 \times 10^{-6}$) 含量和高的 Th/U 值(0.67~1.35),与典型的岩浆成因锆石类似^[18]。在谐和图上,30 个数据点在谐和线上集中分布(图 4), $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄变化范围为 32.0~34.9 Ma,加权平均值为 $33.37 \pm 0.26 \text{ Ma}$ (MSWD = 1.7, $n = 30$),代表了光马山石英二长斑岩的结晶年龄。

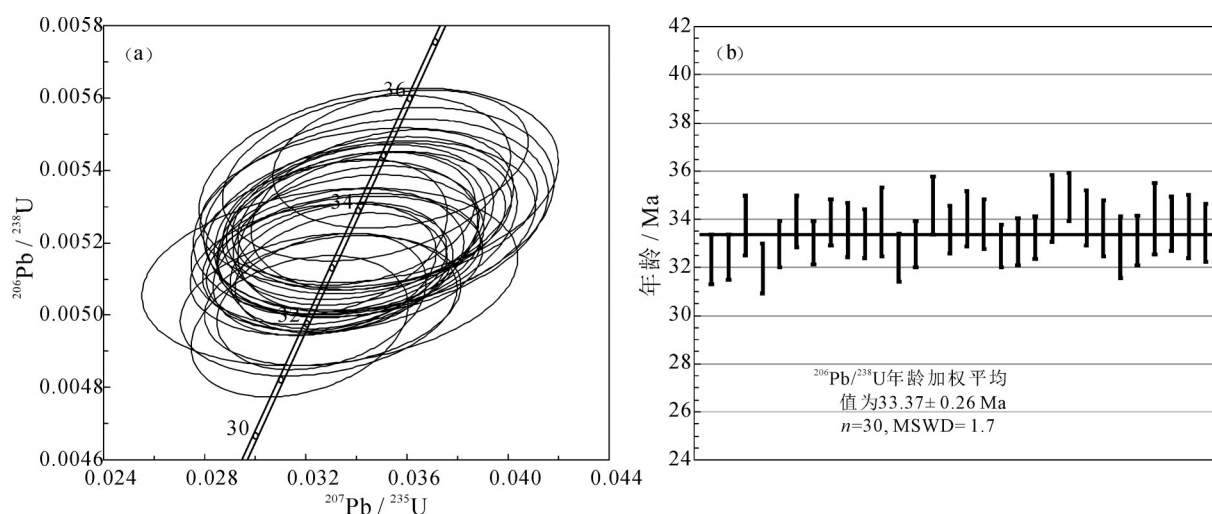


图 4 光马山二长斑岩锆石 U-Pb 谐和图(a)及 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄加权平均值(b)

Fig. 4 U-Pb concordia plot(a) and weighted mean $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ age(b) of zircons from the Guangmashan monzonite porphyry

表1 光马山二长斑岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Th-Pb 同位素分析结果

Table 1 LA-ICP-MS zircon U-Th-Pb dating data for the Guangmashan monzonitic porphyry

测点号	Th/ 10^{-6}	U/ 10^{-6}	Th/U	Pb/ 10^{-6}	普通铅(^{207}Pb 法)校对后同位素比值						普通铅(^{207}Pb 法)校对后表生年龄/Ma					
					$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$\pm 1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$\pm 1\sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$\pm 1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$\pm 1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$\pm 1\sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$\pm 1\sigma$
PM15b5-01	561	637	0.88	3.88	0.0477	0.0034	0.0325	0.0022	0.0050	0.0001	83.4	172	32.5	2.2	32.3	0.5
PM15b5-02	607	767	0.79	4.57	0.0494	0.0038	0.0330	0.0021	0.0050	0.0001	165	180	33.0	2.0	32.4	0.5
PM15b5-03	353	384	0.92	2.46	0.0504	0.0046	0.0346	0.0027	0.0052	0.0001	217	196	34.5	2.6	33.7	0.6
PM15b5-04	549	687	0.80	4.00	0.0469	0.0029	0.0317	0.0018	0.0050	0.0001	42.7	141	31.7	1.7	32.0	0.5
PM15b5-05	662	756	0.88	4.70	0.0477	0.0037	0.0326	0.0021	0.0051	0.0001	83.4	174	32.6	2.1	33.0	0.5
PM15b5-06	536	694	0.77	4.34	0.0483	0.0032	0.0346	0.0023	0.0053	0.0001	122	143	34.5	2.2	33.9	0.5
PM15b5-07	943	959	0.98	6.15	0.0472	0.0025	0.0333	0.0018	0.0051	0.0001	61.2	122	33.2	1.7	33.0	0.5
PM15b5-08	535	669	0.80	4.20	0.0472	0.0029	0.0340	0.0019	0.0053	0.0001	57.5	141	33.9	1.9	33.9	0.5
PM15b5-09	608	590	1.03	3.93	0.0468	0.0030	0.0330	0.0019	0.0052	0.0001	39.0	148	33.0	1.8	33.5	0.6
PM15b5-10	619	738	0.84	4.68	0.0486	0.0034	0.0338	0.0022	0.0052	0.0001	128	156	33.7	2.1	33.4	0.5
PM15b5-11	268	245	1.10	1.69	0.0494	0.0045	0.0346	0.0029	0.0053	0.0001	169	200	34.5	2.8	33.9	0.7
PM15b5-12	844	916	0.92	5.85	0.0475	0.0026	0.0326	0.0017	0.0050	0.0001	76.0	122	32.6	1.7	32.4	0.5
PM15b5-13	504	695	0.73	4.27	0.0468	0.0026	0.0327	0.0018	0.0051	0.0001	39.0	126	32.7	1.8	33.0	0.5
PM15b5-14	470	444	1.06	3.09	0.0489	0.0039	0.0344	0.0023	0.0054	0.0001	143	178	34.3	2.3	34.6	0.6
PM15b5-15	655	794	0.82	4.97	0.0474	0.0027	0.0340	0.0020	0.0052	0.0001	77.9	120	33.9	2.0	33.6	0.5
PM15b5-16	598	540	1.11	3.78	0.0483	0.0031	0.0350	0.0021	0.0053	0.0001	122	131	34.9	2.1	34.0	0.6
PM15b5-17	527	590	0.89	3.87	0.0483	0.0034	0.0344	0.0023	0.0053	0.0001	122	150	34.3	2.2	33.8	0.5
PM15b5-18	903	832	1.09	5.55	0.0478	0.0025	0.0334	0.0017	0.0051	0.0001	87.1	122	33.3	1.7	32.9	0.4
PM15b5-19	606	684	0.89	4.42	0.0473	0.0033	0.0335	0.0022	0.0051	0.0001	64.9	156	33.5	2.2	33.1	0.5
PM15b5-20	456	675	0.67	4.19	0.0479	0.0033	0.0337	0.0021	0.0052	0.0001	98.2	156	33.6	2.1	33.2	0.4
PM15b5-21	403	397	1.02	2.72	0.0491	0.0046	0.0349	0.0029	0.0054	0.0001	154	207	34.8	2.8	34.5	0.7
PM15b5-22	527	634	0.83	4.30	0.0480	0.0030	0.0357	0.0021	0.0054	0.0001	98.2	141	35.6	2.0	34.9	0.5
PM15b5-23	619	459	1.35	3.26	0.0480	0.0040	0.0345	0.0027	0.0053	0.0001	98.2	185	34.4	2.7	34.1	0.6
PM15b5-24	840	811	1.03	5.52	0.0482	0.0030	0.0342	0.0020	0.0052	0.0001	109	141	34.1	2.0	33.6	0.6
PM15b5-25	304	302	1.01	2.03	0.0473	0.0046	0.0329	0.0030	0.0051	0.0001	77.9	202	32.9	3.0	32.8	0.6
PM15b5-26	516	693	0.74	4.43	0.0470	0.0032	0.0331	0.0021	0.0052	0.0001	50.1	161	33.0	2.1	33.1	0.5
PM15b5-27	424	366	1.16	2.60	0.0500	0.0047	0.0349	0.0028	0.0053	0.0001	198	268	34.8	2.8	34.0	0.7
PM15b5-28	533	632	0.84	4.19	0.0474	0.0032	0.0340	0.0022	0.0053	0.0001	77.9	156	34.0	2.1	33.8	0.6
PM15b5-29	355	492	0.72	3.09	0.0481	0.0036	0.0344	0.0024	0.0052	0.0001	106	170	34.3	2.4	33.7	0.7
PM15b5-30	357	469	0.76	2.98	0.0475	0.0036	0.0331	0.0023	0.0052	0.0001	72.3	183	33.1	2.3	33.4	0.6

4.2 元素地球化学特征

光马山二长斑岩主微量元素分析数据见表2。石英二长斑岩 SiO_2 含量变化于 61.55%~69.13% 之间,平均为 65.99%; TiO_2 含量变化于 0.21%~0.47% 之间,平均为 0.34%; Al_2O_3 含量变化于 15.86%~16.96% (> 15%) 之间,平均 16.34%; CaO 含量变化于 0.61%~3.55% 之间,平均 1.38%; Na_2O 含量变化于 4.37%~5.38% 之间,平均 4.95%; K_2O 含量变化于 4.48%~5.54% 之间,平均为 4.96%; 全碱($\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$) 含量变化于 8.85%~10.92% 之间,平均为 9.91%; $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ 值近于 1 (0.88~1.07, 平均 1), 根据 $A.R.-\text{SiO}_2$ 的关系主要表现为碱性岩类特征(图 5-a)。在 TAS 图解(图 5-b)中,斑岩落入石英二长岩范围,与薄片镜下鉴定结果(石英二长斑岩)一致; A/NK 的值为 1.54~

1.84, A/CNK 的值为 1.23~1.72, 在 $A/\text{CNK}-A/NK$ 图解(图 5-c)上,落入过铝质区域。

石英二长斑岩的稀土元素总量 ΣREE 为 $457.35 \times 10^{-6} \sim 956.43 \times 10^{-6}$, 平均 622.58×10^{-6} ; LREE/HREE 值为 25.95~31.51, $(\text{La}/\text{Yb})_N$ 值为 34.68~93.65, 具有陡右倾型稀土元素配分模式(图 6), 强烈富集轻稀土元素而亏损重稀土元素; 重稀土元素较平缓, Eu 异常不明显或仅有轻微负 Eu 异常, $\delta \text{Eu} = 0.68 \sim 0.86$ 。

5 讨 论

5.1 岩石形成时代

本次采用 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年技术对岩体样品进行定年, 结果为 $33.37 \pm 0.26 \text{ Ma}$, 代表了光马山斑岩体的侵位结晶年龄。前人对盐源-丽江

表 2 光马山二长斑岩主量、微量和稀土元素分析结果
Table 2 Analytical results of major, trace elements and REE
of the Guangmashan monzonitic porphyry

样品编号	GMS1b1	PM15b1	PM15b2	PM15b3	PM15b4	PM15b5
SiO ₂	61.55	65.42	66.63	69.13	65.96	67.29
TiO ₂	0.47	0.38	0.38	0.24	0.36	0.21
Al ₂ O ₃	16.94	16.10	16.28	15.86	15.89	16.96
Fe ₂ O ₃	1.59	1.97	1.62	1.61	0.95	1.30
FeO	1.75	1.21	1.48	0.59	2.36	1.04
MnO	0.06	0.03	0.04	0.04	0.07	0.02
MgO	1.85	1.53	1.40	0.22	1.62	0.27
CaO	3.55	1.44	0.62	0.65	1.40	0.61
Na ₂ O	4.78	5.14	4.37	5.27	4.73	5.38
K ₂ O	5.42	4.80	4.48	5.03	4.49	5.54
P ₂ O ₅	0.37	0.27	0.27	0.10	0.24	0.08
烧失量	1.09	1.33	2.09	0.86	1.65	1.02
总量	99.42	99.62	99.66	99.61	99.71	99.72
Na ₂ O+K ₂ O	10.20	9.94	8.85	10.30	9.22	10.92
Na ₂ O/K ₂ O	0.88	1.07	0.98	1.05	1.05	0.97
A/NK	1.66	1.62	1.84	1.54	1.72	1.55
A/CNK	1.23	1.41	1.72	1.45	1.50	1.47
Sc	6.66	5.33	3.65	1.62	2.89	1.38
Ni	22.80	23.10	22.20	22.10	21.90	22.60
Th	39.80	40.30	38.90	38.50	40.60	39.60
U	8.31	8.92	7.68	6.86	8.73	852.00
La	282.00	119.00	221.00	173.00	169.00	96.70
Ce	486.00	270.00	290.00	265.00	346.00	262.00
Pr	32.50	19.40	18.40	23.60	21.80	17.50
Nd	107.00	64.90	56.60	69.30	68.50	54.60
Sm	15.70	9.54	12.51	7.34	8.96	7.80
Eu	3.81	2.50	3.12	1.83	2.01	1.80
Gd	14.00	8.32	11.01	8.06	9.08	7.01
Tb	1.52	0.92	0.85	0.86	0.98	0.79
Dy	7.03	4.21	5.23	3.16	4.45	3.84
Ho	1.11	0.69	1.01	0.89	0.78	0.69
Er	3.00	1.90	2.58	2.01	2.21	2.03
Tm	0.38	0.24	0.33	0.29	0.36	0.31
Yb	2.16	1.53	1.89	1.73	1.68	2.00
Y	34.80	22.50	26.90	21.30	27.60	22.10
Lu	0.31	0.22	0.29	0.28	0.25	0.33
ΣREE	956.43	503.44	624.81	557.32	636.14	457.35
ΣLREE	927.01	485.34	601.63	540.07	616.27	440.40
ΣHREE	29.42	18.10	23.18	17.25	19.87	16.95
ΣLREE/ ΣHREE	31.51	26.81	25.95	31.31	31.02	25.98
La _N /Yb _N	93.65	55.79	83.87	71.73	72.16	34.68
δEu	0.79	0.86	0.81	0.73	0.68	0.74
δCe	1.24	1.38	1.12	1.02	1.40	1.56

注: 主量元素含量单位为%, 微量和稀土元素含量单位为 10⁻⁶

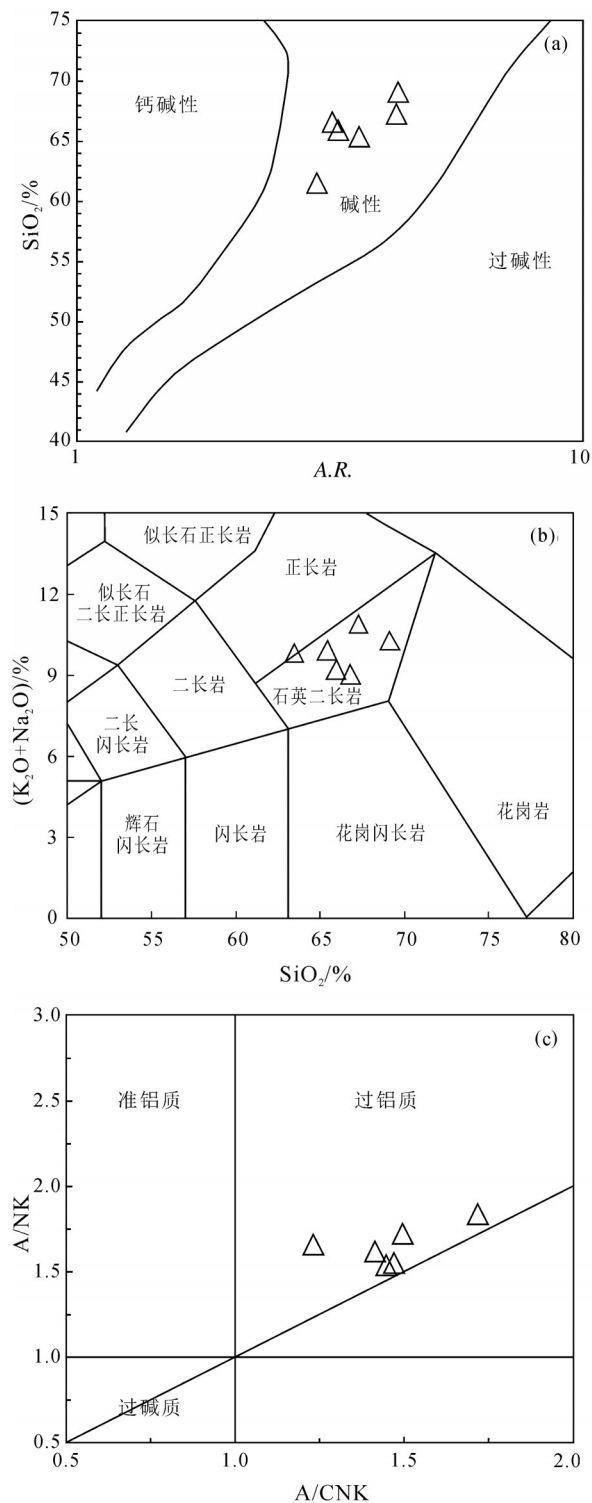


图 5 A.R-SiO₂(a)^[19]、TAS(b)^[20]和 A/CNK-A/NK(c)图解

Fig. 5 A.R-SiO₂(a), TAS(b) and A/CNK-A/NK(c) diagrams

新生代富碱斑岩带中南段做了大量定年工作(表3),如万哨凯等^[11]测定老君山正长岩体 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为 $34.8 \pm 1.6\text{Ma}$,毛晓长等^[22]测得石支岩体 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为 $35.9 \pm 0.5\text{Ma}$,徐恒等^[13]测定分水岭钨矿区成矿相关花岗闪长斑岩体的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为 $34.5 \pm 0.3\text{Ma}$,黄永高等^[10]获得石支、小桥头岩体的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄分别为 $35.60 \pm 0.58\text{Ma}$ 、 $34.70 \pm 0.54\text{Ma}$,而在最北端盐源西范坪铜钨矿区,黄景厚等^[12]获得成矿相关石英二长斑岩体的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为 $31.68 \pm 0.28\text{Ma}$ 。这些岩体的侵位时代均为喜马拉雅早期的晚始新世—早渐新世,与金沙江—红河富碱斑岩带的时代 $38 \sim 33\text{Ma}$ ^[24]基本一致,但在地域上呈现自南西向北东偏离金沙江主走滑断裂带逐渐变新的特点(图1-a),指示丽江北部宁蒗地区至盐源西范坪地区富碱斑岩岩浆活动可能是整个金沙江—红河走滑—岩浆活动的一部分。

5.2 岩石成因

光马山石英二长斑岩的主要矿物为钾长石、斜长石、石英及黑云母,未见角闪石、辉石,并不具有埃达克质岩的典型矿物组合特征^[25]。在地球化学上,岩体具富 SiO_2 ($>61.55\%$, 平均 65.99%)、高钾、富碱 ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ 含量为 $8.85\% \sim 10.92\%$, $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ 值高,为 $0.88 \sim 1.07$) 和低镁 ($\text{Mg}^\# < 0.5$) 特征,其岩石化学特征更接近 C 型埃达克岩^[26-27],具有大陆型或钾质 C 型埃达克岩的特点^[27]。

在 La-La/Yb 和 Th-Ni 图解(图7-a、b)中,斑岩样品点沿一定斜率的趋势线排列,与部分熔融过程

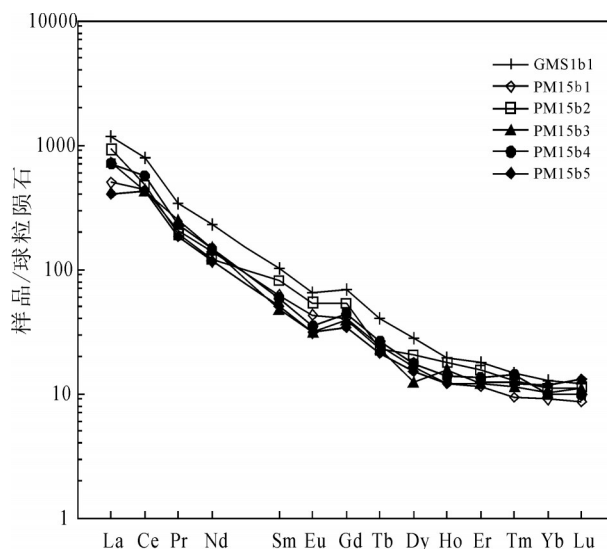


图6 光马山二长斑岩体稀土元素配分模式图^[21]

Fig. 6 Chondrite-normalized REE patterns for the Guangmashan monzonitic porphyry

趋势相同,表明光马山二长斑岩经历了部分熔融的过程,而区别于分离结晶过程。在 $\text{CaO}/(\text{MgO} + \text{TFeO}) - \text{Al}_2\text{O}_3/(\text{TFeO} + \text{MgO})$ 和 $\text{CaO}/(\text{MgO} + \text{TFeO}) - \text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 图解(图7-c、d)中,除样品 GMS1b1 落入变质杂砂岩部分熔融区域外,其他样品点均落入变泥质岩部分熔融区域。结合前述的“与来自俯冲洋壳部分熔融产生的埃达克质岩浆明显不同”^[30]的观点,以及在后碰撞背景下也不可能产生俯冲洋壳的部分熔融,它们的母岩浆应起源于加厚地壳的变泥质岩部分熔融。

表3 盐源—丽江地区富碱斑岩年龄统计

Table 3 Age information of the alkali-rich porphyry in Yanyuan-Lijiang area

岩体	岩性	分析方法	年龄值/Ma	数据来源
西范坪	石英二长斑岩	LA-ICPMS 锆石 U-Pb	31.68 ± 0.28	[12]
光马山	石英二长斑岩	LA-ICPMS 锆石 U-Pb	33.37 ± 0.26	本文
分水岭	花岗闪长斑岩	LA-ICPMS 锆石 U-Pb	34.5 ± 0.3	[13]
石支	花岗斑岩	LA-ICPMS 锆石 U-Pb	35.60 ± 0.58	[10]
	花岗斑岩	LA-ICPMS 锆石 U-Pb	35.9 ± 0.5	[22]
老君山	正长岩	SHRIMP 锆石 U-Pb	34.8 ± 1.6	[11]
	正长岩	LA-ICPMS 锆石 U-Pb	34.56 ± 0.66	[10]
小桥头	石英二长斑岩	LA-ICPMS 锆石 U-Pb	34.70 ± 0.54	[10]
喇叭山	粗面斑岩	LA-ICPMS 锆石 U-Pb	34.74 ± 0.70	[10]
桃花	花岗斑岩	SHRIMP 锆石 U-Pb	36.35 ± 0.35	[23]
北衙	石英正长斑岩	LA-ICPMS 锆石 U-Pb	34.92 ± 0.66	[8]
	石英正长斑岩	LA-ICPMS 锆石 U-Pb	36.24 ± 0.63	[14]
	石英正长斑岩	LA-ICPMS 锆石 U-Pb	36.48 ± 0.26	[15]

5.3 地质意义

研究区地处上扬子西缘,位于西南三江多岛弧盆系与扬子陆块碰撞结合地带^[31]。自古新世印度-欧亚板块碰撞以来,青藏高原北东缘进入汇聚隆升和大规模的陆内构造转换-地壳伸展变形阶段,伴随拉分走滑形成长达3700km的藏东-金沙江-红河断裂带^[10],同时沿该断裂带及其两侧次级断裂带,产出大量新生代基性-超基性和中酸性富碱浅成岩和火山岩,构成著名的金沙江-红河富碱斑岩带。光马山二长斑岩体位于金沙江-红河富碱斑岩的盐源-丽江次级富碱斑岩带北段,其与南侧的老君山岩体、分水岭岩体、北衙岩体及北侧的西范坪岩体(图1-a)呈串珠状近北东向沿小金河、程海断裂展布。对盐源-丽江富碱斑岩带已取得的年龄数据(表3)进行统计,其年龄集中分布在37~31Ma之间,且自金沙江主断裂沿次级断裂北上,斑岩侵入年龄具有由老到新的特征,或可佐证这些斑岩体的起源、运移和就位成岩受新生代金沙江-红河走滑断裂系的控制。

在盐源-丽江斑岩铜金成矿带,除已知研究程度较高的北衙超大型斑岩型金多金属矿床、西范坪斑岩型铜矿床外,依托新一轮区域矿产地质调查,目前在永胜分水岭发现含钼矿的富碱斑岩体,在宁蒗光马山石英二长斑岩体与围岩接触带也已发现铜金矿化,且这些矿化斑岩体在岩石化学特征、成岩时代上与北衙、西范坪成矿富碱斑岩相近。在光马山,沿二长斑岩接触带发育较对称的蚀变分带,自内而外依次为钾化、角岩化、硅化、绢英岩化等。通过盐源-丽江铜金成矿带内富碱斑岩体及矿化蚀变特征的对比研究,结合已知的北衙金矿、西范坪铜矿,认为宁蒗-永胜地区富碱斑岩铜金多金属矿床的成矿潜力较大。

6 结论

(1)应用LA-ICP-MS 锆石U-Pb同位素测年获得光马山石英二长斑岩的结晶年龄为 33.37 ± 0.26 Ma,属于渐新世早期,与盐源-丽江富碱斑岩带

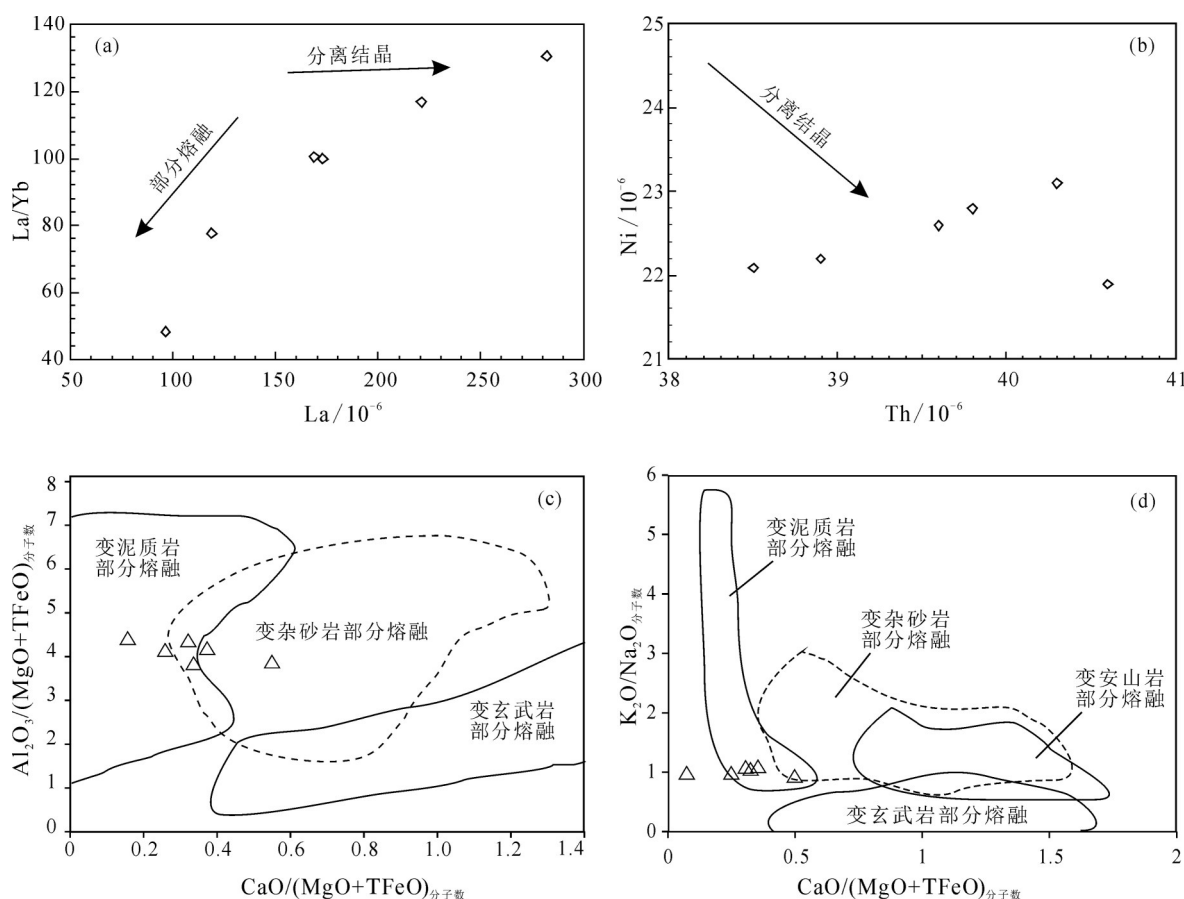


图7 光马山二长斑岩La-La/Yb(a)、Th-Ni图解(b)^[28]及原岩判别图解(c,d)^[29]

Fig. 7 La-La/Yb(a), Th-Ni(b) diagrams and discrimination diagrams for source(c,d) of the Guangmashan monzonite porphyry

主体侵位时代 37~31Ma 一致,是金沙江-红河新生代走滑/剪切-岩浆活动主要时期的产物。

(2)光马山石英二长斑岩体显著富硅、高钾富碱、富集轻稀土和亏损重稀土元素,高 La/Yb 值及低 Y、Yb 和 Mg[#] 值,显示其具有的大陆型或钾质 C 型埃达克岩的特征。在印度-欧亚大陆晚碰撞构造转换背景下,富碱斑岩体的起源、运移和就位成岩受新生代金沙江-红河走滑断裂系的控制,其母岩浆可能起源于加厚地壳的变泥质岩部分熔融。

(3)盐源-丽江铜金成矿带内目前已发现北衙金矿、西范坪铜矿等矿床,且不同地段富碱斑岩体及矿化蚀变特征具有良好的可对比性,分析认为宁蒗-永胜地区具有较大的斑岩型铜金多金属矿床的成矿潜力。

致谢:中国地质科学院黄景厚硕士和中国地质大学(武汉)朱东升等同仁参加了野外工作,成文过程中得到中国地质调查局成都地质调查中心林方成研究员、张海博士的指导和帮助,在此一并表示感谢。

参考文献

- [1]侯增谦,钟大赉,邓万明.青藏高原东缘斑岩铜钼金成矿带的构造模式[J].中国地质,2004,31(1):1-13.
- [2]侯增谦,潘桂堂,王安建,等.青藏高原碰撞造山带:晚碰撞转换成矿作用[J].矿床地质,2006,25(5):521-543.
- [3]莫宣学.青藏高原新生代碰撞-后碰撞火成岩[M].北京:地质出版社,2009:1-396.
- [4]Liang H Y, Campbell I H, Allen C, et al. Zircon Ce⁴⁺/Ce³⁺ ratios and ages for Yulong ore bearing porphyries in eastern Tibet[J]. Mineralium Deposita, 2006, 41(2): 152-159.
- [5]姜耀辉,蒋少涌,凌宏飞,等.陆-陆碰撞造山环境下的含铜斑岩岩石成因——以藏东玉龙斑岩铜矿带为例[J].岩石学报,2006,22(4):697-706.
- [6]徐受民,莫宣学,曾普胜,等.滇西北衙富碱斑岩的特征及成因[J].现代地质,2006,20(4):527-535.
- [7]肖晓牛,喻学惠,莫宣学,等.滇西洱海北部北衙地区富碱斑岩的地球化学、锆石 SHRIMP U-Pb 定年及成因[J].地质通报,2009,28(12):786-803.
- [8]和文言,莫宣学,喻学惠,等.滇西北衙煌斑岩的岩石成因及动力学背景:年代学、地球化学及 Sr-Nd-Pb-Hf 同位素约束[J].岩石学报,2014,30(11):3287-3300.
- [9]毕献武,胡瑞忠,叶造军,等. A 型花岗岩类与铜成矿关系研究:以马厂箐铜矿为例[J].中国科学(D 辑),1999,19(6):489-495.
- [10]黄永高,罗改,张彤,等.滇西丽江地区新生代富碱斑岩年代学、地球化学特征及其地质意义[J].现代地质,2018,32(1):28-44.
- [11]万峭凯,夏斌,张玉泉.老君山正长岩锆石 SHRIMP 定年[J].大地构造与成矿学,2005,29(4):522-526.
- [12]黄景厚,周清,王宏,等.四川盐源西范坪渐新世含矿二长斑岩成因浅析[J].地质学报,2019,93(3):622-632.
- [13]徐恒,崔银亮,周家喜,等.云南永胜分水岭矿区富碱斑岩地球化学、锆石 U-Pb 年龄及其地质意义[J].大地构造与成矿学,2016,40(3):614-624.
- [14]和文言,喻学惠,莫宣学,等.滇西北衙多金属矿田矿床成因类型及其与富碱斑岩关系初探[J].岩石学报,2012,28(5):1401-1412.
- [15]和文言,莫宣学,喻学惠,等.滇西北衙金多金属矿床锆石 U-Pb 和辉钼矿 Re-Os 年龄及其地质意义[J].岩石学报,2013,29(4):1301-1310.
- [16]Ludwig K R. Isoplot 3.70: A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel[M]. California: Berkeley Geochronology Center, 2008:1-74.
- [17]靳新娣,朱和平.岩石样品中 43 种元素的高分辨等离子质谱测定[J].分析化学,2000,28(5):563-567.
- [18]吴元保,郑永飞.锆石成因矿物学研究及其对 U-Pb 年龄解释的制约[J].科学通报,2004,49(16):1589-1604.
- [19]Wright J B. A simple alkalinity ratio and its application to questions of non-orogenic granite genesis[J]. Geological Magazine, 1969, 106(4):370-384.
- [20]Middlmost E. Naming materials in the magma/igneous rock system earth[J]. Science Reviews, 1994, 37(3/4):215-224.
- [21]Boynton W V. Cosmochemistry of the rare earth elements: meteorite studies[C]//Henderson P. Rare Earth Element Geochemistry. Elsevier, Amsterdam, 1984: 63-114.
- [22]毛晓长,尹福光,廖世勇.金沙江-哀牢山构造带中段桃花村岩体的 LA-ICP-MS U-Pb 锆石 U-Pb 定年及地质意义[J].矿物岩石,2012,32(3):70-76.
- [23]洪涛,游军,吴楚,等.滇西桃花花岗斑岩中新太古代—古元古代锆石年龄信息:对扬子板块西缘基底时代的约束[J].岩石学报,2015,31(9):2583-2596.
- [24]邓军,杨立强,王长明.三江特提斯复合造山与成矿作用研究进展[J].岩石学报,2011,27(9):2501-2509.
- [25]Xiao L, Clemens J D. Origin of potassic (C-type) adakite magmas: Experimental and field constraints[J]. Lithos, 2007, 95(3/4): 399-414.
- [26]张旗,王焰,刘伟,等.埃达克岩的特征及其意义[J].地质通报,2002,21(7):231-235.
- [27]张旗,许继峰,王焰,等.埃达克岩的多样性[J].地质通报,2004,23(9/10):959-965.
- [28]Kaygusuz A, Siebel W, Sen C. Petrochemistry and petrology of I-type granitoids in an arc setting: the composite Torul Pluton. Eastern Pontides, NE Turkey[J]. International Journal of Earth sciences, 2008, 97(4):739-764.
- [29]Altherr R, Siebel W. I-type plutonism in a continental back-arc setting: Miocene granitoids and monzonites from the central Aegean Sea, Greece[J]. Contributions to Mineralogy and Petrology, 2002, 143(4):397-415.
- [30]Martin H. Adakite magmas: modern analogues of Archaean granitoids[J]. Lithos, 1999, 46: 411-429.
- [31]潘桂棠,徐强,侯增谦,等.西南“三江”多岛弧造山过程成矿系统与资源评价[M].北京:地质出版社,2003:1-420.