

中缅毗邻区金腊 Pb-Zn-Ag 多金属矿田花岗岩锆石 U-Pb 定年与地球化学特征

陈永清¹, 黄静宁¹, Xiaoming Zhai², 卢映祥³, 程志中⁴, 李建荣³

1. 中国地质大学(北京) 地球科学与资源学院, 北京 100083
2. College of Lake County, 19351 W. Washington St., Grayslake, IL 60030, USA
3. 云南省地质调查局, 云南 昆明 650051
4. 中国地质科学院 地球物理地球化学勘查研究所, 河北 廊坊 065000

Chen Yongqing¹, Huang Jingning¹, Xiaoming Zhai², Lu Yingxiang³, Cheng Zhizhong⁴,
Li Jianrong³

1. School of Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences (Beijing), Beijing 100083, China
2. College of Lake County, 19351 W. Washington St., Grayslake, IL 60030, USA
3. Yunnan Geological Survey, Kunming 650051, China
4. Institute of Exploration Geophysics and Geochemistry, Chinese Academy of Geological Sciences, Langfang 065000, China

Chen Yongqing, Huang Jingning, Zhai Xiaoming, et al. Zircon U-Pb age and geochemistry of granitoids within Jinla Pb-Zn-Ag polymetallic ore field across China and Myanmar. *Earth Science Frontiers*, 2009, 16(1): 344-362

Abstract: Jinla Pb-Zn-Ag polymetallic ore field across China and Myanmar, is tectonically located in the south segment of the Mengtong-Gengma-Ximeng passive continental margin of Proterozoic era-Palaeozoic era, and the eastern margin of the Baoshan-Shantai Massif. The granitoids related to mineralization within the ore field include Laochang amphibole admellite, Menglinshan biotite admellite and Nanla K-feldspar granite-porphyry. This paper systematically presents the characteristics of the major elements, REE and trace elements (including ore-forming elements) of the granites and their isotopic ages determined by zircon SHRIMP dating. The intrinsic connection and genesis of the granites, and the relationships between granites and Pb-Zn-Ag mineralization are discussed. It comes to the conclusions as follows: (1) Among three types of granites, Laochang amphibole admellite and Menglinshan biotite admellite have the same age of (45 ± 1) Ma and likely emplaced in a deeper setting at the earlier stage of tectonomagmatic evolution; Nanla K-feldspar granite-porphyry has an age of (43.41 ± 0.78) Ma and emplaced in a shallower setting at the later stage of tectonomagmatic evolution. (2) Studies on both major elements and trace elements of the granites, combined with their zircon U-Pb age, such as REE and Zr/Hf, Nb/Ta, Rb/Sr, Rb/Ba, K/Rb, $(Rb/Yb)_N$, Sr^* , K^* and Zr^* show that these granites emplaced in an extension tectonic environment at the age of 43~45 Ma during the later stage of syncollision of the Himalayan orogenic episode, which are the products of crystallization and differentiation from their mother granite magma at different stage of tectonomagmatic evolution. (3) It has been shown in the Al-(Na+K+Ca/2) diagram that the Jinla granitoids are all plotted within the area of "S" type of granites, but the samples

收稿日期: 2008-09-17; 修回日期: 2008-10-20

基金项目: 国家高技术研究发展计划“863”项目(2006AA06Z113); 国家自然科学基金项目(40772197); 国家科技支撑计划项目(2006BAB01A03)

作者简介: 陈永清(1960—), 男, 博士, 教授, 矿产勘查专业。E-mail: yqchen@cugb.edu.cn

from Laochang amphibole admellite, Menglinshan biotite admellite and Nanla K-feldspar granite-porphyry are scattered gradually far away from the boundary between "I" and "S" types of granites, implying that the components from the upper mantle gradually decreasing from the Laochang amphibole admellite to the Menglinshan biotite admellite and then to the Nanla K-feldspar granite porphyry. (4) In contrast to granites in China, Nanla K-feldspar granite-porphyry are strongly richer in ore-forming elements such as W, Cu, Bi, Sb, Mo, Sn, Ag, Pb, and Au as well as volatile elements F, B, and As than the other two types of granites. In addition to that, the Pb-Zn-Ag ore deposits are spatially associated with K-feldspar granite-porphyry veins in depth within this ore field, which implies that the K-feldspar granite-porphyry may be closely related to the Pb-Zn-Ag mineralization and may be regarded as visible marks for finding new ore deposits.

Key words: Jinla granitoids; zircon U-Pb dating; element geochemistry; Pb-Zn-Ag mineralization; across China and Myanmar

摘要:位于中缅毗邻区的金腊铅锌银多金属矿田大地构造上处于保山—掸泰地块东缘,勐统一耿马—西盟元古宙—古生代被动大陆边缘活动带南段。与矿化有关的花岗岩(简称金腊花岗岩)包括老厂似斑状角闪二长花岗岩、勐林山似斑状黑云二长花岗岩和南腊碱长花岗斑岩。文中系统研究了上述岩石的主量元素、稀土元素、微量元素、成矿元素和锆石 U-Pb 同位素年龄等特征,从构造岩浆演化的角度,探讨上述岩体之间内在联系、成因演化以及与成矿的关系:(1)在金腊花岗岩三种岩石类型中,老厂似斑状角闪二长花岗岩和勐林山似斑状黑云二长花岗岩的锆石同位素 U-Pb 年龄皆为 (45 ± 1) Ma,形成于岩浆结晶分异早期阶段的深成环境,而南腊碱长花岗斑岩的锆石同位素 U-Pb 年龄为 (43.41 ± 0.78) Ma,形成于岩浆结晶分异晚期阶段的浅成环境。(2)主量元素和微量元素(稀土元素和某些微量元素(Zr/Hf、Nb/Ta、Rb/Sr、Rb/Ba、K/Rb、(Rb/Yb)_N、Sr*、K* 和 Zr*))结合 U-Pb 同位素定年研究表明,本区花岗岩形成于喜马拉雅同碰撞造山成矿作用末期局部拉张构造环境,并分别代表了构造岩浆演化过程中不同演化阶段岩浆分异结晶的产物。(3)上述三类花岗岩样品皆位于 S 型花岗岩区,但从老厂似斑状角闪二长花岗岩,勐林山似斑状黑云二长花岗岩,到南腊碱长花岗斑岩,样品分布逐渐远离 "I" 型花岗岩和 "S" 型花岗岩的分界线,这表明自老厂似斑状角闪二长花岗岩至勐林山似斑状黑云二长花岗岩,到南腊碱长花岗斑岩慢源组分逐渐减少。(4)相对中国花岗岩,南腊碱长花岗斑岩不仅更富集 W、Cu、Bi、Sb、Mo、Sn、Ag、Pb 和 Au 等成矿元素,而且还强烈富集 F、B 和 As 等矿化剂元素,因此,碱长花岗斑岩是最有成矿远景的岩体。

关键词:金腊花岗岩;锆石 U-Pb 定年;元素地球化学;Pb-Zn-Ag 多金属矿化;中缅毗邻区

中图分类号:P573 **文献标志码:**A **文章编号:**1005-2321(2009)01-0344-19

自 20 世纪 80 年代以来,喜马拉雅造山机制及其资源环境效应一直是中外地质学家研究的前缘领域,而青藏—三江地区不同类型花岗岩的时空分布与造山运动的关系,以及对金属矿床形成与分布的影响则是这一前缘课题研究的热点之一^[1-10]。但由于构造-岩浆-成矿的复杂性,许多问题仍处于探索阶段。侯增谦等^[11]根据造山过程与金属矿床发育的强度,将喜马拉雅碰撞造山成矿作用划分为同碰撞造山成矿作用(65~41 Ma)、晚碰撞转换成矿作用(40~26 Ma)和后碰撞伸展成矿作用(25~0 Ma);而张旗等^[12]则根据喜马拉雅造山运动有关的花岗岩类型将其划分为造山初期阶段(55~45 Ma)、造山中期阶段(40~30 Ma)和造山晚期阶段(26~3 Ma)。本文研究的目的是基于同位素年代学和地球化学等手段,探索研究区花岗岩形成的大

地构造环境、演化机制及其与成矿的关系。

位于中缅毗邻区金腊铅锌银多金属矿田大地构造上处于保山—掸泰地块东缘,勐统一耿马—西盟元古宙—古生代被动大陆边缘活动带南段^[13-14](图 1)。矿田内与矿化有关的花岗岩(简称金腊花岗岩)包括老厂似斑状角闪二长花岗岩、勐林山似斑状黑云二长花岗岩和南腊碱长花岗斑岩。在保山—掸泰地块的缅甸一侧有著名的包德温和臭水铅锌矿床^[15],在中国保山—镇康地块近年来发现了核桃坪和芦子园等大型铅锌矿床,且这些矿床,据其地球化学和地球物理特征,被认为是与中酸性岩体有关的热液改造型铅锌矿床^[16-19],但在中国矿区迄今没有发现出露的中酸性侵入体。因此,从同位素年代学和地球化学的角度,研究金腊花岗岩形成的大地构造背景、演化机制以及与成矿的关系,不仅对

认识研究区矿床成矿规律与找矿具有重要意义,而且对认识我国保山—镇康地块上同类矿床的成矿规律与矿产勘查亦具有重要的参考价值。

1 地质背景

新生代以来,区内岩浆活动强烈,形成具有以斑状-似斑状结构为特色的花岗岩类。主要岩石类型为二长花岗岩(代表性岩体分别为勐林山岩体和老厂岩体)和碱长花岗斑岩(代表性岩体为南腊岩体)。二长花岗岩呈岩基(勐林山岩体)或岩枝(老厂岩体),而碱长花岗斑岩则以小岩株(南腊岩体)和岩脉产出,有些脉岩的边部伴有铅锌矿化。金厂、臭水、南腊等铅锌多金属矿床(点)具岩(体)控-裂控(NE向断裂)双重控矿的特征,其空间上既有围绕着花岗岩体呈环状分布,又有沿NE向断裂呈带状分布的特点。

勐林山似斑状黑云二长花岗岩主要分布于矿田西部缅甸境内,出露面积约100 km²,近SN向呈岩基分布,侵入地层为新元古界(主要岩性为千枚岩、片岩和大理岩化白云岩)和三叠系(泥晶灰岩)。老厂似斑状角闪二长花岗岩跨越中缅边界出露于矿田的中部(勐林山似斑状黑云二长花岗岩的东侧),出露面积约8 km²,近NWW向呈岩株分布,侵入地层为新元古界。南腊碱长花岗斑岩分布于矿集区的NE部中国境内,出露面积约0.8 km²,近NW向呈岩株分布,侵入地层为新元古界。

本文对矿田内勐林山岩体、老厂岩体和南腊岩体进行主量、微量元素定量分析(武汉岩矿测试中心完成)和锆石阴极发光(CL)显微结构分析,并在此基础上实施SHRIMP微区U-Pb定年(北京离子探测中心完成),从地球化学和同位素年代学的角度探讨其物质组成、岩浆成因与演化以及与成矿的可能关系。

2 岩石学特征

(1)二长花岗岩:包括老厂似斑状角闪二长花岗岩和勐林山似斑状黑云二长花岗岩。①老厂似斑状角闪二长花岗岩:粉红色,似斑状中粒花岗结构,块状构造。斑晶为钾长石,粒径0.5~2.4 cm,个别钾长石斑晶内部可见文象结构(石英从钾长石中析出呈蠕虫状分布);基质暗色矿物主要为角闪石(5%~

8%)。其次为黑云母(1%~3%),粒径1~2 mm;基质浅色矿物主要由钾长石(35%~45%)、斜长石(20%~25%)、石英(20%~25%)等矿物组成,粒径3~5 mm。基质钾长石呈自形-半自形板柱状,斜长石斑晶自形-半自形板状,石英呈他形粒状,角闪石呈自形-半自形柱状。副矿物有榍石、磁铁矿、磷灰石和锆石等。②勐林山似斑状黑云二长花岗岩:灰白色,似斑状中粒花岗结构,块状构造。斑晶钾长石,粒径0.5~3.5 cm;基质暗色矿物主要为黑云母(3%~5%),其次为角闪石(1%~3%),粒径1~3 mm;浅色矿物主要由钾长石(板柱状自形晶,35%~40%)、斜长石(板状自形晶20%~25%)、石英(他形粒状25%~30%),粒径3~5 mm;副矿物为榍石、磁铁矿、磷灰石和锆石等。

(2)碱长花岗斑岩:南腊碱长花岗斑岩:浅灰—灰白色,斑状结构,块状构造。斑晶粒径0.5~2 cm,斑晶为石英和钾长石。基质粒径1~3 mm,主要由钾长石(30%~45%)、石英(40%~55%)和粘土矿物(5%~10%)组成;钾长石板柱状自形晶,石英他形粒状。副矿物为榍石、磁铁矿、黄铁矿和锆石等。

具有似斑状结构的二长花岗岩侵入体可能形成于相对深成环境,而具有典型斑状结构的碱长花岗斑岩岩株则可能形成于相对较浅的环境。

3 地球化学特征

3.1 主量元素

岩石主量元素含量、CIPW标准矿物成分和岩石化学参数见表1。

(1)勐林山似斑状黑云二长花岗岩A/CNK(铝饱和指数)为1.08~1.29,南腊碱长花岗斑岩为1.86~2.94,大于1.0,皆为过铝质花岗岩,岩石化学类型属于铝过饱和型,显示地壳源的特点;而老厂似斑状角闪二长花岗岩A/CNK为0.91~0.99,小于1.0为准铝质花岗岩,岩石化学类型属于正常系列。对于老厂准铝质花岗岩,(Na₂O+K₂O)/Al₂O₃分子比值(表1中NK/A)为0.77~0.80,小于1为钙碱性花岗岩,显示壳幔混合源的特点^[20]。

(2)在CIPW标准矿物中,勐林山似斑状黑云二长花岗岩和南腊碱长花岗斑岩刚玉标准分子(C)分别为1.77~3.47和8.14~11.72,透辉石标准分子(Di)皆为0,亦显示地壳源的特点;而老厂似斑状角闪二长花岗岩刚玉标准分子(C)绝大多数(75%)为

表 1 中缅毗邻区金腊花岗岩岩石化学组成
Table 1 Major element compositions of Jinla granitoids across China and Myanmar

序号	样品号	$w_B/\%$														CIPW 标准矿物				
		SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	H ₂ O ⁺	总和	Qz	An	Ab	Or		
1	LC-01	69.73	0.36	14.94	1.09	0.83	0.05	0.48	2.46	3.87	4.76	0.11	0.59	99.27	23.75	9.4	32.99	28.33		
2	LC-02	70.44	0.33	14.87	1.24	0.72	0.04	0.41	1.99	3.63	5.15	0.1	0.52	99.44	24.82	9.13	30.91	30.63		
3	LC-03	69.57	0.34	14.98	1.3	0.72	0.04	0.45	2.24	3.98	5.04	0.11	0.65	99.42	22.25	8.19	33.95	30.02		
4	LC-04	69.99	0.44	14.8	1.26	0.98	0.04	0.78	2.72	3.79	3.89	0.15	0.67	99.51	26.42	11.98	32.33	23.17		
5	LC-06	69.41	0.39	15.13	1.26	0.85	0.05	0.47	2.3	3.96	4.81	0.13	0.61	99.37	22.72	9.37	33.76	28.64		
6	LC-07	69.79	0.38	15.14	1.22	0.88	0.05	0.52	2.06	3.58	4.95	0.11	0.69	99.37	24.8	10.09	30.55	29.15		
7	LC-08	69.44	0.39	15.26	1.35	0.87	0.05	0.5	2.02	3.6	4.95	0.1	0.85	99.38	24.42	9.99	30.76	29.54		
8	LC-09	70.13	0.35	14.83	1.21	0.85	0.06	0.48	2.24	3.93	4.66	0.12	0.54	99.4	24.25	9.12	33.48	27.73		
9	ML-01	69.63	0.43	15.79	1.26	0.85	0.03	0.64	2.02	3.72	3.83	0.12	1.07	99.39	28.58	8.91	31.86	22.91		
10	ML-02	69.84	0.47	15.32	1.23	0.89	0.03	0.64	1.85	3.43	4.54	0.1	1.01	99.35	28.04	8.32	29.35	27.04		
11	ML-03	69.65	0.46	15.82	1.25	0.98	0.03	0.66	1.73	3.24	3.9	0.07	1.66	99.45	31.7	7.96	27.92	23.77		
12	ML-04	70.14	0.44	15.46	1.27	0.85	0.03	0.61	1.85	3.5	3.94	0.06	1.28	99.43	30.2	8.65	30.04	23.62		
13	ML-05	69.98	0.44	15.51	1.25	0.9	0.04	0.69	1.68	3.16	4.24	0.11	1.4	99.4	31.27	7.5	27.16	25.45		
14	ML-06	70.09	0.46	15.67	1.27	0.87	0.03	0.61	1.95	3.66	3.72	0.06	1.04	99.43	29.73	9.2	31.33	22.71		
15	ML-07	68.45	0.48	16.44	1.26	0.92	0.02	0.66	1.45	3.04	4.41	0.1	2.15	99.38	30.51	6.54	26.32	26.07		
16	ML-08	69.52	0.47	15.77	1.39	0.85	0.03	0.66	1.75	3.3	3.96	0.11	1.61	99.42	31.02	7.87	28.42	23.82		
17	NL-01	70.26	0.44	16.37	3.05	0.22	0.01	0.62	0.05	0.18	4.99	0.03	3.37	99.59	51.17	0	0.15	30.62		
18	NL-02	71.01	0.44	15.27	2.3	0.18	0.01	0.52	0.03	0.2	6.58	0.04	2.97	99.55	45.95	0	0.21	40.19		
19	NL-05	70.45	0.46	16.48	2.69	0.22	0.01	0.65	0.04	0.09	4.91	0.05	3.6	99.65	52.35	0	-0.54	30.19		
20	NL-06	68.12	0.49	15.94	3.36	0.22	0.01	0.57	0.04	0.29	7.28	0.08	3.18	99.58	39.35	0	1.11	44.58		
21	NL-08	72.2	0.4	15.16	3	0.25	0.01	0.7	0.02	0.14	4.6	0.06	3.08	99.62	55.24	0	-1.12	28.13		
22	NL-10	71.18	0.44	15.77	2.74	0.18	0.01	0.65	0.02	0.14	5.33	0.04	3.09	99.59	51.22	0	-0.58	32.6		
23	NL-11	71.97	0.43	15.54	2.49	0.18	0.01	0.6	0.01	0.19	5.37	0.03	2.77	99.59	51.11	0	0.54	32.73		
24	NL-12	71.96	0.43	15.36	2.85	0.15	0.01	0.64	0.02	0.12	5.22	0.03	2.78	99.57	52.22	0	-0.5	31.83		

续表

序号	样品号	CIPW 标准矿物											DI	δ_{13}	A/CNK	NK/A	AR
		C	Di	Hy	Il	Mt	Ap	Cc	Nc	合计							
1	LC-01	0	1.45	1.14	0.69	1.29	0.27	0.5	0	99.81	85.07	2.77	0.91	0.77	2.60		
2	LC-02	0	0.48	1.46	0.63	1.32	0.24	0.21	0	99.83	86.36	2.80	0.96	0.78	2.51		
3	LC-03	0	2.22	0.7	0.65	1.38	0.27	0.21	0	99.84	86.21	3.05	0.91	0.80	2.72		
4	LC-04	0	0.68	2.46	0.84	1.42	0.36	0.21	0	99.87	81.92	2.18	0.94	0.70	2.53		
5	LC-06	0	1.48	1.15	0.75	1.42	0.32	0.21	0	99.82	85.12	2.90	0.93	0.78	2.67		
6	LC-07	0.23	0	2.04	0.73	1.4	0.27	0.21	0	99.82	84.85	2.70	0.98	0.75	2.43		
7	LC-08	0.36	0	2.04	0.75	1.48	0.24	0.21	0	99.79	84.73	2.75	0.99	0.74	2.43		
8	LC-09	0	1.43	1.27	0.67	1.38	0.29	0.21	0	99.83	85.45	2.71	0.93	0.77	2.71		
9	ML-01	2.33	0	2.37	0.83	1.33	0.29	0.44	0	99.85	83.36	2.13	1.11	0.65	2.43		
10	ML-02	1.77	0	2.25	0.9	1.37	0.24	0.44	0	99.82	84.53	2.35	1.08	0.69	2.33		
11	ML-03	3.47	0	2.54	0.89	1.38	0.17	0.37	0	99.87	83.09	1.89	1.22	0.60	2.17		
12	ML-04	2.35	0	2.3	0.85	1.33	0.15	0.37	0	99.86	83.86	2.02	1.13	0.64	2.36		
13	ML-05	3.06	0	2.56	0.85	1.35	0.27	0.37	0	99.84	83.88	2.01	1.18	0.63	2.16		
14	ML-06	2.31	0	2.29	0.88	1.33	0.15	0.37	0	99.83	83.31	2.00	1.13	0.64	2.42		
15	ML-07	4.42	0	2.42	0.93	1.37	0.25	0.37	0	99.80	83.50	2.15	1.29	0.60	2.03		
16	ML-08	3.28	0	2.5	0.91	1.38	0.27	0.37	0	99.84	83.26	1.97	1.2	0.61	2.21		
17	NL-01	11.36	0	3.57	0.87	1.72	0.07	0.1	0.29	99.92	81.94	0.96	2.79	0.35	1.92		
18	NL-02	8.38	0	2.37	0.86	1.47	0.1	0.08	0.31	99.92	86.34	1.62	2.00	0.49	2.59		
19	NL-05	11.72	0	3.36	0.91	1.52	0.13	0.03	0.27	99.94	82.01	0.89	2.94	0.33	1.87		
20	NL-06	8.14	0	3.05	0.96	2.21	0.2	0.01	0.29	99.90	85.05	2.23	1.86	0.53	2.80		
21	NL-08	10.75	0	3.89	0.79	1.67	0.15	0	0.47	99.97	82.26	0.76	2.86	0.34	1.91		
22	NL-10	10.46	0	3.28	0.86	1.58	0.1	0.03	0.36	99.91	83.25	1.04	2.57	0.38	2.06		
23	NL-11	9.93	0	2.93	0.84	1.45	0.07	0.07	0.23	99.90	84.38	1.05	2.48	0.39	2.11		
24	NL-12	10.11	0	3.34	0.84	1.6	0.07	0.08	0.31	99.90	83.55	0.97	2.56	0.38	2.06		

DI(分子指数) = $Qz + Or + Ab$; δ_{13} (组合指数) = $(Na_2O + K_2O)^2 / (SiO_2 - 43)$; A/CNK(铝饱和指数) = $Al_2O_3 / (Ca_2O + Na_2O + K_2O)$ (分子比); NK/A = $(Na_2O + K_2O) / Al_2O_3$ (分子比); AR(碱度率) = $[Al_2O_3 + CaO + (Na_2O + K_2O)] / [Al_2O_3 + CaO - (Na_2O + K_2O)]$ (%)。

0, 少数(25%)为 0.23~0.36, 透辉石标准分子(D)绝大多数(75%)为 0.48~1.48, 少数(25%)为 0, 亦显示壳幔混合源的特点^[20]。

(3) 组合指数(σ)分布范围为 0.96~3.05, 其中老厂似斑状角闪二长花岗岩最高为 2.77~3.05, 其次是勐林山似斑状黑云二长花岗岩 1.89~2.35, 南腊碱长花岗岩斑岩最低 0.96~1.62, 个别(1件)2.23; 属里特曼划分的钙性-钙碱性^[21]。

(4) 分异指数(DI)在岩体中的变化范围 81.92~86.36, 大于花岗岩(80), 结晶分异程度较高^[22]。

在 SiO_2 -AR(碱度率)图解上(图 2), 绝大多数样品属于钙碱性岩石系列(全部勐林山花岗岩样品、绝大多数南腊花岗岩样品和部分老厂花岗岩样品), 部分(老厂花岗岩样品, 和个别南腊花岗岩样品)属于碱性岩石系列^[21]。

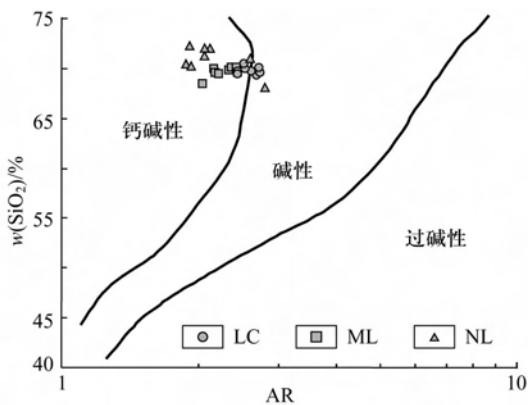


图 2 中缅毗邻区金腊花岗岩 SiO_2 -AR(碱度率)图解^[22]

Fig. 2 SiO_2 -AR diagram for Jinla granitoids across China and Myanmar^[22]

LC: 老厂岩体; ML: 勐林山岩体; NL: 南腊岩体

在 Q(石英)-A(碱性长石)-P(斜长石)实际矿物三元图解(图 3a)上, 老厂和勐林山花岗岩落入 3b(二长花岗岩)区域, 构造环境上属于大陆碰撞花岗岩类, 而南腊花岗岩落入 2(碱长花岗岩)区域, 构造环境上属于与大陆抬升有关的花岗岩类^[23]。

在 A/CNK-A/NK 图解上(图 3b), 老厂角闪二长花岗岩样品落入准铝质区域, 勐林山黑云母二长花岗岩和南腊碱长花岗岩样品落入过铝质区域^[24]。更有意义的是, 南腊碱长花岗岩样品分布于勐林山二长花岗岩右上侧, 沿等分线($A/CNK \approx A/NK$)呈线性分布, 这是由于 CaO 的含量在南腊岩体中趋于零所致。这表明随着岩浆结晶分异导致斜长石的不断析出, 剩余岩浆中 Al_2O_3 和 K_2O 质组分逐渐增加, CaO 和 Na_2O 组分则逐渐减少(表 1)。

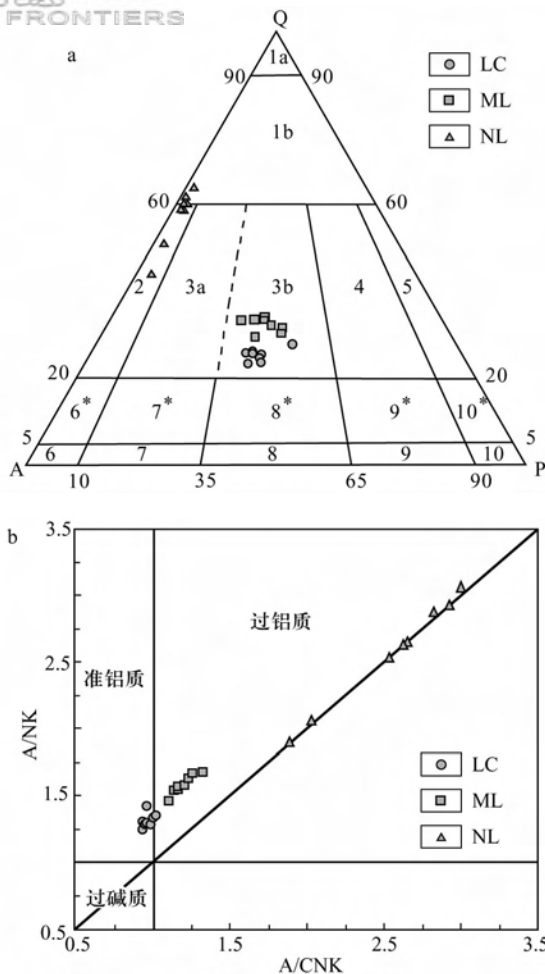


图 3 (a) 中缅毗邻区金腊花岗岩 Q(石英)-A(碱性长石)-P(斜长石)实际矿物三元图解^[23]; (b) A/NK-A/CNK(分子比)图解^[24]

Fig. 3 (a) Modal compositions of the Jinla granites in a quartz(Q), alkali feldspar(A) and plagioclase(P) ternary diagram^[23], and (b) molecular A/NK versus A/CNK diagram^[24]

Q—石英; A—碱性长石; P—斜长石。1—富石英花岗岩; 2—碱性长石花岗岩; 3—花岗岩; 3a—正长花岗岩或普通花岗岩; 3b—二长花岗岩; 4—花岗闪长岩; 5—英云闪长岩; 6*—石英碱性长石正长岩; 7*—石英正长岩; 8*—石英二长岩; 9*—石英二长闪长岩/石英二长辉长岩; 10*—石英闪长岩/石英辉长岩; 石英斜长岩; 6—碱性长石正长岩; 7—正长岩; 8—二长岩; 9—二长闪长岩/二长辉长岩; 10—闪长岩/辉长岩/斜长岩。符号内容同图 2

根据上述岩石化学特点, 结合岩体产出状态和原岩特点, 该区花岗岩具碰撞花岗岩特征。王义昭等^[14]根据耿马、南腊和班老一带出露的喜马拉雅期中酸性侵入岩的产出形态、构造发育特点和岩浆活动特征, 推测该区经历喜马拉雅期核杂岩的演化, 岩浆活动表现深源特点, 为伸展作用下的产物。碰撞造山后期和后碰撞环境通常形成于挤压造山作用之后的区域拉伸构造环境^[20]。结合其锆石 U-Pb 同位

素定年,本区花岗岩应形成于喜马拉雅同碰撞造山成矿作用末期局部拉伸构造环境。

在 $(\text{Na}+\text{K}+\text{Ca}/2)\text{-Al}$ 判别图解^[25](图4)上,上述岩体皆位于S型花岗岩区域,其中,老厂岩体样品接近“I”和“S”型花岗岩分界线,南腊岩体样品远离其分界线,勐林山岩体样品位于上述两岩体样品之间;这表明上述岩体壳源组分占主导地位,但含有一定的幔源组分,并且自老厂岩体→勐林山岩体→南腊岩体所含幔源组分逐渐减少。

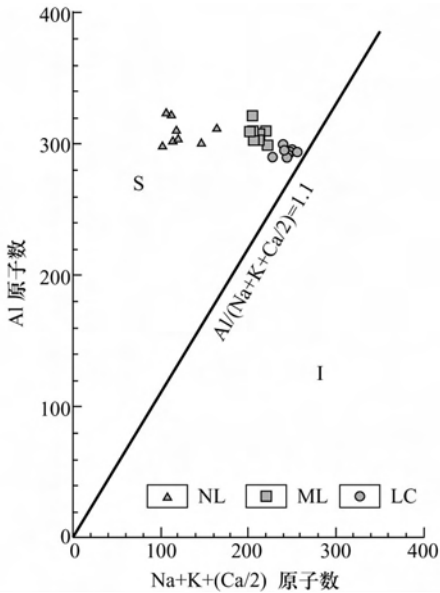


图4 中缅毗邻区金腊花岗岩I型和S型花岗岩图解^[25]

Fig.4 Al-(Na+K+Ca/2) diagram showing I and S types of the Jinla granitoids^[25]

图中 Al/(Na+K+Ca/2)为原子数之比,符号内容同图2

3.2 稀土元素

岩石稀土元素总量为 $(93\sim 467)\times 10^{-6}$ (表2),其中老厂似斑状角闪二长花岗岩含量最高 $(321\sim 467)\times 10^{-6}$,其次为勐林山似斑状黑云二长花岗岩 $(217\sim 286)\times 10^{-6}$,南腊碱长花岗斑岩最低 $(93\sim 175)\times 10^{-6}$ 。在上述各岩体中,LR/HR 16.84~29.52,表明稀土元素发生强烈分异,LREE强烈富集,富集程度自勐林山岩体(25.70)→老厂岩体(24.32)→南腊岩体(21.25)逐渐降低。岩体 δEu 均小于1,属铕亏损型,但亏损程度存在差别,勐林山似斑状黑云二长花岗岩 δEu (0.84~0.87)接近老厂似斑状角闪二长花岗岩(0.83~0.85),属轻度亏损,而南腊碱长花岗斑岩(0.50~0.70)为中度亏损。 δCe 在上述岩体中小于或等于1,其在岩体中具有类

似 δEu 的分布特征。 $(\text{La}/\text{Yb})_N$ 分布范围21.7~58.9,其中勐林山似斑状黑云二长花岗岩相对较高46.3~58.9,其次为老厂似斑状角闪二长花岗岩43.9~51.5,南腊碱长花岗斑岩21.7~54.5最低; $(\text{Ce}/\text{Yb})_N$ 在上述岩体中具有与 $(\text{La}/\text{Yb})_N$ 类似的分布特点;而 $(\text{Sm}/\text{Eu})_N$ 则相反,勐林山似斑状黑云二长花岗岩1.57~1.68与老厂似斑状角闪二长花岗岩1.57~1.64接近,且低于南腊碱长花岗斑岩2.08~2.87。反映LREE之间分馏程度的 $(\text{La}/\text{Sm})_N$ 为4.21~7.69,其中老厂岩体6.10~7.02(均值6.58)与勐林山岩体5.74~7.69(6.69)相近,且大于南腊岩体4.21~6.08(5.19);反映HREE之间分馏程度的 $(\text{Gd}/\text{Yb})_N$ 与 $(\text{La}/\text{Sm})_N$ 具有类似的分布特征,分布范围为1.91~3.74,其中老厂岩体3.26~3.64(均值3.46)与勐林山岩体3.33~3.74(3.54)相近且大于南腊岩体1.91~3.71(2.82);这表明在上述岩体中,轻稀土元素的分馏程度大于重稀土元素,老厂和勐林山岩体轻、重稀土元素分馏程度接近,皆大于南腊岩体。稀土元素配分曲线(图5)表明:三个岩体皆为右倾陡倾斜型,但勐林山似斑状黑云二长花岗岩与老厂似斑状角闪二长花岗岩为平滑陡倾斜型,而南腊碱长花岗斑岩具有明显的负Eu和Ce异常。

总之,从稀土元素地球化学特征推断,三个岩体可能是同一岩浆作用过程,不同成岩阶段的产物。

3.3 微量元素

岩体的微量元素及其相关比值见表3。

某些微量元素的比率或标准化值可定量描述不同岩体元素值的差异性^[27],这种差异在某种程度上,可反映岩浆结晶程度和物质来源。

在岩浆分离结晶作用过程中,一些非活动性元素,如Zr、Hf、Nb、Ta等因离子电位较高,均具有极小的迁移能力,在岩石中Zr与Hf、Nb和Ta由于具有相近的晶体化学性质,总是相互伴生,因此,我们可以像应用稀土元素那样,利用Zr/Hf和Nb/Ta推断岩体之间的亲缘关系;又由于上述元素对之间存在晶体化学上的微小差异,Zr/Hf和Nb/Ta能够反映岩浆分离结晶作用的程度。在分离结晶的固相中,Zr/Hf随岩浆分离结晶程度的加强而增大,Nb/Ta通常随分离结晶程度的加强而减小^[27]。Zr/Hf在金腊花岗岩中具有很窄的分布范围22.49~32.32,可能表明了它们之间具有一定的亲缘关系;但自老厂岩体(22.49~24.36,均值23.52)→勐林

表 2 中缅毗邻区金腊花岗岩类稀土元素组成
Table 2 REE compositions of Jinla granitoids across China and Myanmar

样品	$\times 10^{-6}$														Lr/HR	δEu	δCe	$(\text{La}/\text{Sm})_N$	$(\text{Gd}/\text{Yb})_N$	$(\text{La}/\text{Yb})_N$	$(\text{Ce}/\text{Yb})_N$	$(\text{Sm}/\text{Eu})_N$		
	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu									Y	ΣREE
LC-01	92.55	158.6	19.66	63.09	9.43	2.17	5.76	0.74	3.65	0.61	1.55	0.21	1.28	0.19	21.38	381	24.7	0.84	0.85	6.17	3.64	48.8	32.1	1.64
LC-02	91.44	154	18.47	59.03	8.69	2.03	5.34	0.73	3.41	0.59	1.5	0.22	1.32	0.21	15.1	362	25.05	0.85	0.85	6.62	3.26	46.7	30.2	1.61
LC-03	108.8	181.2	20.89	68.47	10	2.36	6.68	0.89	4.37	0.78	1.81	0.27	1.61	0.25	23.29	432	23.51	0.83	0.86	6.84	3.36	45.6	29.1	1.60
LC-04	78.86	135.1	15.86	53.96	8.13	1.88	5.14	0.7	3.34	0.57	1.33	0.2	1.21	0.19	14.35	321	23.17	0.83	0.87	6.10	3.44	43.9	28.9	1.63
LC-06	116	200.8	23.16	76.23	11.11	2.61	7.22	0.92	4.49	0.78	1.79	0.27	1.66	0.26	19.53	467	24.72	0.84	0.88	6.57	3.50	47.1	31.3	1.60
LC-07	101.2	170.3	19.91	66.36	9.78	2.35	6.28	0.87	4.13	0.7	1.75	0.26	1.49	0.23	16.67	402	23.55	0.86	0.86	6.51	3.40	45.8	29.6	1.60
LC-08	116	197.8	21.62	72.81	10.39	2.49	6.78	0.92	4.41	0.74	1.81	0.26	1.52	0.23	17.08	455	25.26	0.85	0.89	7.02	3.60	51.5	33.7	1.57
LC-09	105	174.1	20.57	67.43	9.71	2.32	6.33	0.83	3.99	0.68	1.66	0.25	1.47	0.23	16.77	411	24.56	0.85	0.85	6.80	3.47	48.2	30.7	1.53
ML-01	55.02	103.6	9.49	29.7	4.5	1.08	2.74	0.39	1.81	0.33	0.75	0.11	0.66	0.1	6.73	217	29.52	0.87	1.00	7.69	3.35	56.2	40.6	1.57
ML-02	68.88	107.1	12.34	40.88	6.18	1.44	3.62	0.49	2.25	0.41	0.97	0.14	0.79	0.12	11.75	258	26.94	0.86	0.82	7.01	3.71	58.8	35.1	1.62
ML-03	64.57	98.69	14.41	45.12	7.08	1.59	3.95	0.59	2.77	0.48	1.13	0.17	0.94	0.14	9.75	251	22.76	0.84	0.75	5.74	3.40	46.3	27.1	1.68
ML-04	66.45	106.9	12.65	43.47	6.54	1.53	3.9	0.53	2.41	0.44	1.07	0.15	0.87	0.13	9.82	257	25.00	0.86	0.83	6.39	3.64	51.5	31.8	1.61
ML-05	66.01	122.6	12.61	43.22	6.47	1.53	3.92	0.53	2.51	0.44	1.02	0.15	0.86	0.12	9.01	271	26.43	0.86	0.96	6.41	3.67	51.8	36.9	1.53
ML-06	77.47	107	15.14	52.41	7.98	1.88	4.86	0.67	3.14	0.55	1.31	0.19	1.12	0.15	12.34	286	21.84	0.86	0.71	6.11	3.51	46.6	24.7	1.60
ML-07	62.08	93.17	11.03	35.63	5.38	1.27	3.21	0.44	2.04	0.38	0.91	0.13	0.78	0.12	7.33	224	26.04	0.86	0.79	7.26	3.33	53.7	30.9	1.60
ML-08	75.94	117.6	14.04	47.45	6.9	1.59	4.02	0.56	2.52	0.45	1.04	0.15	0.87	0.12	9.34	284	27.08	0.85	0.81	6.93	3.74	58.9	35.0	1.61
NL-01	20.87	36.73	4.53	15.43	2.35	0.4	1.53	0.22	1.24	0.25	0.67	0.11	0.65	0.1	8.06	93	16.84	0.61	0.87	5.60	1.91	21.7	14.6	2.22
NL-02	26.19	44.02	6.28	22.38	3.69	0.61	2.16	0.33	1.55	0.27	0.65	0.1	0.61	0.1	5.29	114	17.88	0.61	0.80	4.46	2.88	28.9	18.7	2.27
NL-05	27.04	50.87	5.71	18.79	2.94	0.52	1.85	0.28	1.46	0.28	0.76	0.12	0.73	0.11	7.98	119	18.94	0.64	0.94	5.79	2.06	25.0	18.0	2.13
NL-06	45.12	61.04	10.02	35.42	4.96	0.9	2.48	0.38	1.83	0.3	0.74	0.11	0.69	0.11	5.05	169	23.71	0.70	0.66	5.72	2.90	44.1	22.9	2.08
NL-08	38.86	67.48	7.73	25.38	4.02	0.56	2.18	0.26	1.11	0.21	0.52	0.08	0.48	0.08	4.18	153	29.27	0.52	0.89	6.08	3.71	54.5	36.3	2.71
NL-10	43	71.74	9.91	32.72	5.1	0.67	2.74	0.36	1.57	0.28	0.67	0.1	0.63	0.1	5.19	175	25.29	0.50	0.81	5.30	3.53	46.1	29.5	2.87
NL-11	42.86	49.51	10.78	41.57	6.17	0.96	3.01	0.42	1.86	0.35	0.85	0.13	0.85	0.13	6.34	166	19.98	0.60	0.54	4.37	2.86	34.0	15.1	2.42
NL-12	33.91	33.11	8.91	34.4	5.06	0.8	2.46	0.35	1.55	0.31	0.79	0.12	0.73	0.11	6.13	129	18.10	0.61	0.45	4.21	2.73	31.3	11.7	2.39

注: 球粒陨石数值引自 Boynton, 1984^[26]。

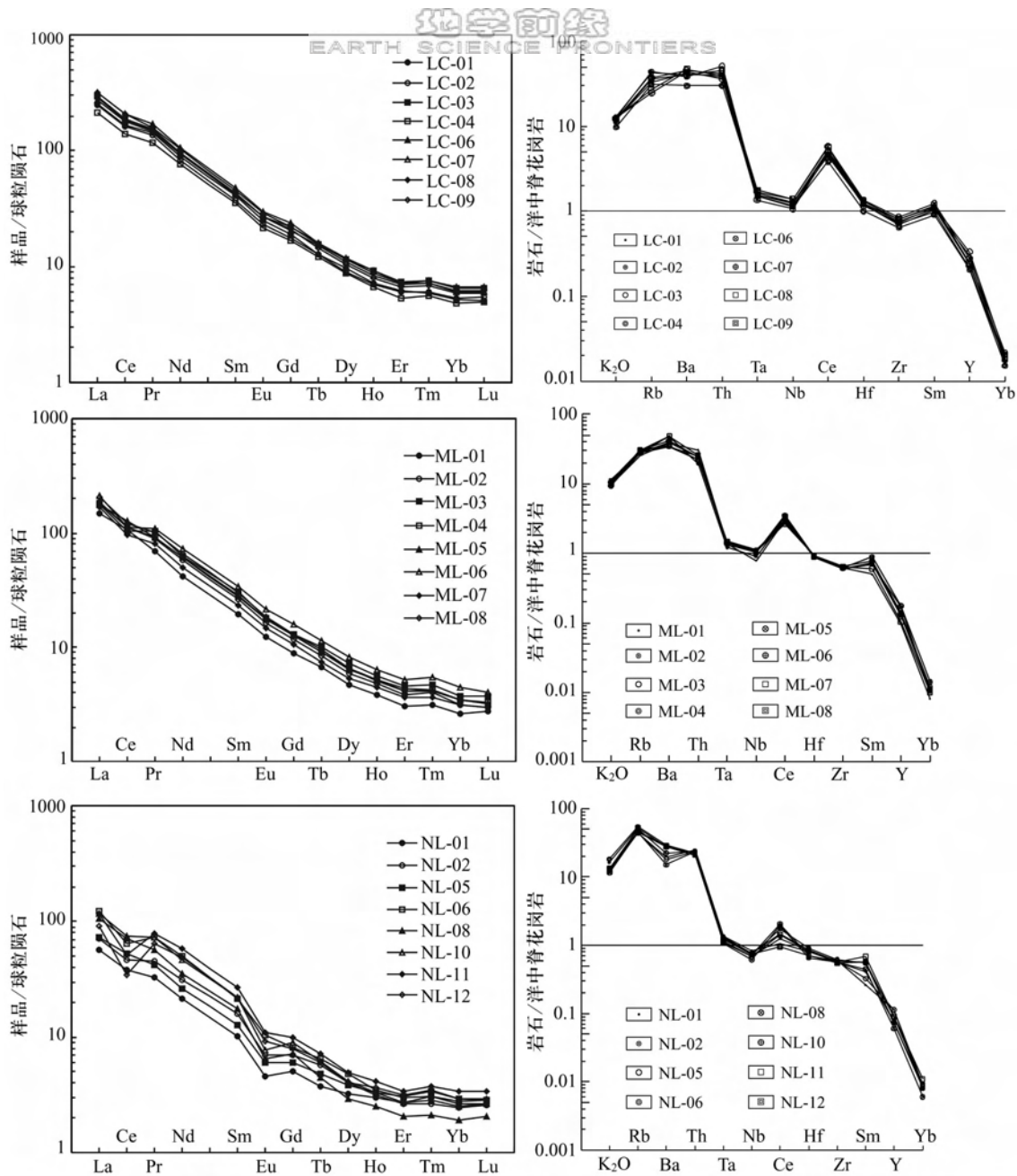


图5 中缅毗邻区金腊花岗岩稀土元素球粒陨石标准化曲线(左)^[26]和不相容元素洋中脊花岗岩标准化蛛网图(右)^[28]

Fig. 5 Chondrite-normalized REE-patterns(left)^[26] and mid-ocean granite normalized incompatible element patterns (right)^[28] for the samples from the Jinla granitoids across China and Myanmar

山岩体(24.38~27.51,25.82)→南腊岩体(25.67~32.32,28.00),其比值有逐渐增大的趋势,而 Nb/Ta(还有 La/Ta)恰表现了相反分布趋势。这可能表明,自老厂岩体→勐林山岩体→南腊岩体分离结晶程度逐渐增大,因此,推断上述岩体可能是同源不同阶段的产物。

Rb/Sr 在上述岩体中的分布为老厂岩体 0.05

~0.09(均值 0.07)与勐林山岩体 0.07~0.11(均值 0.09)接近,而南腊岩体 1.21~4.30(均值 2.11)则显著增加;Rb/Ba 比值具有类似的分布,老厂岩体 0.05~0.09(均值 0.07)、勐林山岩体 0.05~0.07(均值 0.06)、南腊岩体 0.13~0.24(均值 0.17)。这可能是由于南腊岩体几乎不含斜长石,且钾长石与斜长石总量低于前两个岩体所致。因为在岩浆结

表3 中缅毗邻区金腊花岗岩微量元素组成
Table 3 Trace element compositions of Jinla granitoids across China and Myanmar

岩体类型	$w_B/10^{-6}$														
	K	Rb	Sr	Ba	Cs	Li	Zr	Hf	Nb	Ta	Y	Th	U		
老厂二长花岗岩	ave(9)	39 650	139	1 895	2 042	3.6	28.1	254	10.8	12.4	1.1	18.02	32.3	5.18	
	min	32 293	100	1 490	1 499	2.34	19.6	219	9	10.7	0.95	14.35	24.1	3.75	
	max	42 753	175	2 053	2 326	4.66	63.2	287	12.2	13.9	1.23	23.29	41.2	8.99	
勐林山二长花岗岩	ave(7)	33 766	116	1 238	1 993	5.02	28.1	211	8.2	10.1	0.98	9.51	19.3	4.37	
	min	30 881	103	1 109	1 720	3.1	24.3	202	7.8	7.8	0.85	6.73	15.4	3.16	
	max	37 689	125	1 508	2 431	6.56	34.2	221	8.4	11.2	1.04	12.34	24.4	5.54	
南腊碱长花岗岩斑岩	ave(8)	45 949	190	108	1 175	2.57	17.4	195	7	7.2	0.85	6.03	18.1	4.78	
	min	38 187	175	42	752	2.08	13.4	186	5.9	6.2	0.75	4.18	16.6	3.83	
	max	60 435	218	180	1 453	2.98	20.9	209	8.1	8.4	0.94	8.06	19.7	5.73	
岩体类型	Rb/Sr	Rb/Ba	Zr/Hf	Nb/Ta	La/Ta	K/Rb	(Rb/Yb) _N	K*	Zr*	Sr*					
老厂二长花岗岩	ave(9)	0.07	0.07	23.52	11.27	92.4	296	0.071	2.13	1.93	1.23				
	min	0.05	0.05	22.49	10.74	74.9	239	0.049	1.86	1.86	1.12				
	max	0.09	0.09	24.36	11.78	106.6	410	0.096	2.52	2.04	1.33				
勐林山二长花岗岩	ave(7)	0.09	0.06	25.82	10.29	68.8	292	0.101	2.75	2.45	1.28				
	min	0.07	0.05	24.38	8.07	56.7	262	0.072	2.15	1.99	1.07				
	max	0.11	0.07	27.51	10.75	81.2	335	0.117	3.18	3.21	1.43				
南腊碱长花岗岩斑岩	ave(8)	2.11	0.17	28	8.54	41.4	241	0.214	7.59	3.67	0.21				
	min	1.21	0.13	25.67	8.07	22.2	212	0.159	5.3	2.37	0.07				
	max	4.3	0.24	32.32	9.01	53.9	277	0.279	11.26	6.28	0.37				

注:括号中数字表示样品数;带*号数据为金腊花岗岩微量元素标准化值(用原始地幔, McDonough et al., 1995 标准化)。

晶分异过程中,斜长石早于钾长石结晶,因此,晚期的熔浆通常是更富碱质的^[29-30];又由于斜长石富含Ca,钾长石富K,Ca与Sr、Ba在元素周期表上同属第Ⅱ主族,而Rb与K则同属第Ⅰ主族,各自具有类似的晶体化学性质;因此,Sr、Ba比Rb优先进入斜长石,富斜长石的固相结晶分离后的残浆形成的岩体应具有更高的Rb/Sr和Rb/Ba比值^[31]。Rb/Sr明显升高亦表明花岗岩经历强烈的结晶分异^[32],因此,南腊碱长花岗岩斑岩可能是花岗质岩浆强烈结晶分异后期阶段的产物。与地幔Rb/Sr(0.03)、Rb/Ba(0.09)^[33]和下地壳相应值(0.17, 0.07)^[34]相比,老厂岩体(0.07, 0.07)和勐林山岩体(0.09, 0.06)与之相近,南腊岩体(2.11, 0.17)远高于其相应值,表明形成老厂和勐林山岩体的岩浆分异演化程度较低,而形成南腊岩体的岩浆经历高度分异演化。由此推测,南腊碱长花岗岩可能是二长花岗岩结晶分离后的残浆结晶的产物,这与其稀土元素含量特征及其配分模式具有一致的结论。

K/Rb在上述岩体中的分布为老厂岩体239~410(均值296)与勐林山岩体262~335(均值292)接近,而南腊岩体212~277(均值241)则显著降低,这表明在整个岩浆结晶演化过程中,南腊碱长花岗岩斑岩是最后阶段的产物。这是因为在岩浆结晶分异

过程中,K比Rb优先富集于分离结晶的固相,而Rb在分离结晶的残余熔体中比K富集^[27]。

(Rb/Yb)_N自老厂岩体0.049~0.096(均值0.071)→勐林山岩体0.072~0.117(0.101)→南腊岩体0.159~0.279(0.214)逐渐增加,表明它们的分离结晶程度逐渐增强。

Sr*在上述岩体中的分布特征是,老厂岩体(1.12~1.33,均值1.23)与勐林山岩体(1.07~1.43,1.28)接近,且大于1,属锶富集型;而南腊岩体(0.07~0.37,0.21)远小于1,属锶严重亏损型,亦可能反映南腊岩体(贫斜长石)是上述岩体(富斜长石)结晶分离后的残余熔体结晶的产物。K*在上述岩体中的分布皆大于1,属钾富集型,自老厂岩体(1.86~2.52,均值2.13)→勐林山岩体(2.15~3.18,2.75)逐渐增加,至南腊岩体(5.30~11.26,7.59)显著增加;这可能表明南腊岩体的壳源组分显著大于老厂和勐林山岩体,勐林山岩体又大于老厂岩体。Zr*在上述岩体中的分布特征与K*类似,皆大于1,属锆富集型,反映壳源花岗岩的特征。且自老厂岩体(1.86~2.04,均值1.93)→勐林山岩体(1.99~3.21,2.45)→南腊岩体(2.37~6.28,3.67)逐渐增加,可能表明其壳源组分亦逐渐增加。

微量元素标准化蛛网图(图5)表明,金腊花岗

岩总体上为强不相容元素强烈富集型, Hf-Yb 则明显亏损, K_2O -Ce 强不相容元素含量高于洋中脊花岗岩($Nb \approx$ 洋脊花岗岩的含量), 绝大部分元素在含量上显示老厂岩体 \geq 勐林山岩体 $>$ 南腊岩体, 只有在 K_2O 、Rb 含量上, 南腊岩体大于老厂岩体和勐林山岩体。Rb、Ce、Sm 显示正异常, Nb、Zr 显示负异常, 就 Ba 而言, 老厂岩体和勐林山岩体显示正异常, 而南腊岩体显示负异常。南腊岩体 K_2O 、Rb 高含量和 Ba 负异常是由于南腊碱长花岗斑岩富集钾长石、贫化斜长石所致。

微量元素标准化蛛网图(图 5)还表明: 金腊花岗岩微量元素配分模式与 Pearce 等^[28] 图中的中国云南同碰撞花岗岩微量元素配分模式相似, 这亦表明金腊花岗岩形成于喜马拉雅造山过程的同碰撞期。

3.4 成矿元素

成矿元素和挥发份元素(矿化剂)在地质体中的丰度是评价其成矿潜力的重要指标, 也是确定矿源岩(矿源层)的必要条件, 通常认为其丰度越高越有利于成矿^[35-39]。相对中国花岗岩^[40](表 4), 勐林山似斑状黑云二长花岗岩微量元素浓集序列为 Sb(2.76) \rightarrow F(2.23) \rightarrow Pb(1.88) \rightarrow As(1.61) \rightarrow B(1.51) \rightarrow Zn(1.22), 老厂似斑状黑云二长花岗岩: Sb(8.40) \rightarrow As(3.61) \rightarrow F(2.86) \rightarrow Mo(2.24) \rightarrow Pb(1.63) \rightarrow Cu(1.49), 南腊碱长花岗斑岩: As(57.04) \rightarrow W(49.48) \rightarrow Cu(42.75) \rightarrow Bi(31.84) \rightarrow Sb(6.54) \rightarrow Mo(6.25) \rightarrow F(5.07) \rightarrow Ag(4.49) \rightarrow Sn(3.62) \rightarrow B(2.75) \rightarrow Pb(1.47) \rightarrow Au(1.28); 这表明无论从成

矿元素富集种类, 还是富集强度, 南腊碱长花岗斑岩远大于前两类岩体, 因此, 该类岩体是最有成矿远景的岩体。

4 锆石 U-Pb 年龄

对矿田内勐林山、老厂似斑状二长花岗岩体和南腊碱长花岗斑岩体中的锆石进行了阴极发光观察和 U-Pb 年龄的 SHRIMP 测定。

4.1 分析方法

在双目镜下选择透明、无裂隙具有代表性的锆石颗粒, 与标样锆石一起制靶(制成环氧树脂样品座), 然后, 在光学显微镜下对被测锆石颗粒进行照相(包括透射光和反射光), 再在电子探针下进行锆石阴极发光(CL)研究(图 6)。在上述基础上选择合适的锆石颗粒进行 U-Pb 年龄测定。老厂、勐林山岩体样品和南腊岩体样品阴极发光研究分别在中国科学院地质与地球物理所电子探针实验室和中国地质科学院北京离子探针中心完成。锆石的 U-Pb 年龄测定在中国地质科学院北京离子探针中心 SHRIMP II 上完成。锆石 SHRIMP 测定的方法与原理参照 Compston 等^[41]、Williams^[42] 和 Davis 等^[43]。样品测试前首先测定标准锆石 SL13 用来标定待测样品的 U、Th 和 Pb 的含量, 然后每测 4 个点测定一颗标准锆石 TEM(417Ma)点, 用以校正不同元素间同位素分馏。应用实测²⁰⁴Pb 含量校正普通 Pb。单个数据点误差为 1σ , 样品年龄加权平均值误差为 2σ 。数据处理采用 Ludwig^[44-45] ISOPLOT 程序。

表 4 中缅毗邻区金腊花岗岩成矿元素组成

Table 4 Ore-forming element compositions of Jinla granitoids across China and Myanmar

岩体类型	$w_B/10^{-6}$													
	Au	Ag	Cu	Pb	Zn	W	Mo	Sn	As	Sb	Bi	F	B	
老厂二长花岗斑岩	ave(9)	0.44	0.06	8.17	42.44	47.35	0.69	1.57	2.31	4.33	1.09	0.15	1388	6.06
	min	0.30	0.03	5.35	31	35.97	0.27	1.03	1.70	1.70	0.40	0.08	834	4.91
	max	0.85	0.08	12.21	54.1	58.34	2.28	2.79	3.75	10.71	2.05	0.24	2030	8.59
	K	0.91	0.94	1.49	1.63	1.18	0.69	2.24	1.05	3.61	8.40	0.65	2.86	1.10
勐林山二长花岗斑岩	ave(7)	0.38	0.03	3.97	48.83	48.83	0.60	0.42	1.59	1.93	0.36	0.26	1079	8.29
	min	0.31	0.02	3.21	44.6	39.79	0.17	0.25	1.23	0.94	0.10	0.11	1009	6.27
	max	0.46	0.03	4.79	53.7	61.18	1.38	0.72	1.89	3.12	0.60	0.49	1136	10.45
	K	0.80	0.44	0.72	1.88	1.22	0.60	0.61	0.72	1.61	2.76	1.06	2.23	1.51
南腊碱长花岗斑岩	ave(8)	0.62	0.27	235.15	38.24	20.02	49.48	4.37	7.95	68.45	0.85	7.64	2461	15.15
	min	0.45	0.08	194.90	18.5	15.42	40.75	2.46	5.78	42.87	0.13	4.16	1970	11.18
	max	0.79	0.83	292.40	91.9	23.34	55.81	8.05	9.68	95.24	1.52	18.61	2792	18.17
	K	1.28	4.49	42.75	1.47	0.50	49.48	6.25	3.62	57.04	6.54	31.84	5.07	2.75

注: 括号中数字表示样品数; K=金腊花岗岩元素平均含量/中国花岗岩元素含量^[38]。

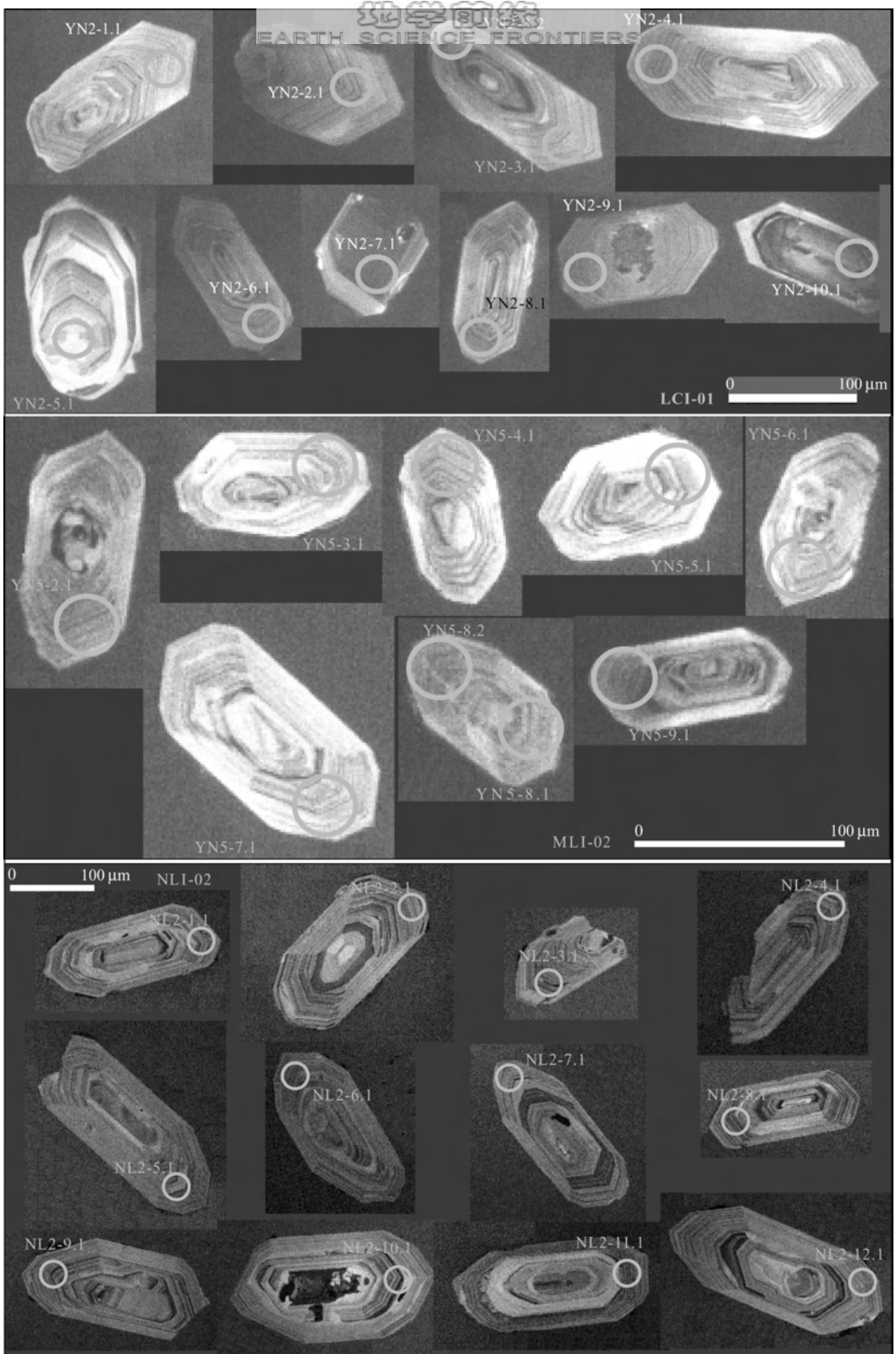


图6 中缅毗邻区金腊花岗岩老厂(LCI-01), 勐林山(MLI-02)和南腊岩体(NLI-02)典型CI锆石照片

Fig. 6 Typical CI images of zircons from Laochang amphibole admellite (LCI-01), Menglinshan biotite admellite (MLI-02) and Nanla K-feldspar granite-porphphy at Jinla Pb-Zn-Ag ore field across China and Myanmar

表 5 中缅毗邻区金腊花岗岩锆石 U-Pb 同位素数据

Table 5 Zircon U-Pb isotope data for Jinla granitoids across China and Myanmar

点号	$\alpha(\text{U})/10^{-6}$	$\alpha(\text{Th})/10^{-6}$	$^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$	$\alpha(^{208}\text{Pb})/10^{-6}$	$^{206}\text{Pb}_k(\%)$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	误差(%)	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	误差(%)	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	误差(%)	年龄/Ma			
												$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$		
LCI-01															
YN2-1.1	770	518	0.7	4.72	0.6	0.007 1	2.2	0.04	4.6	0.045 3	4	45.5	1	46	4
YN2-2.1	821	606	0.76	5.04	2.34	0.007	2.3	0.04	4.9	0.044 9	4.4	44.8	1.1	42	3
YN2-3.1	647	419	0.67	3.93	1.74	0.007	2.3	0.05	6	0.049 7	5.5	44.6	1.1	44	4
YN2-3.2	1 225	227	0.19	7.24	1.22	0.006 8	2.1	0.046	7.1	0.049 2	6.7	43.7	0.94	37	5
YN2-4.1	876	600	0.71	5.42	1.64	0.007 1	3.3	0.04	5.7	0.044 1	4.6	45.5	1.5	46	4
YN2-5.1	480	428	0.92	81.6	0.19	0.197 3	2	2.06	2.4	0.075 6	1.3	1 160.7	21.3	1 161	25
YN2-6.1	642	387	0.62	3.83	1.53	0.006 8	10.2	0.04	12	0.046 8	6.3	43.9	4.5	44	6
YN2-7.1	1 282	100	0.84	9.08	0.91	0.008 2	2.2	0.06	3.8	0.049 1	3.1	52.4	1.2	52	2
YN2-8.1	1 033	786	0.79	6.41	1.8	0.007 2	9.3	0.05	10	0.051 9	3.8	45.6	4.2	41	4
YN2-9.1	520	420	0.84	3.14	2.73	0.006 7	5.4	0.02	14.3	0.021 4	13.2	44	2.4	51	4
YN2-10.1	884	56	0.07	51.3	0.17	0.067 5	2	0.53	2.3	0.0572	1.2	420.8	8.1	413	2
MLI-02															
YN5-2.1	948	594	0.65	5.74	0.95	0.007	2.2	0.04	4.4	0.045 5	3.9	44.9	1	43	2
YN5-3.1	894	614	0.71	5.5	1.03	0.007 1	2.2	0.05	4.5	0.047 1	4	45.5	1	45	2
YN5-4.1	886	659	0.77	5.43	1.36	0.007 1	2.6	0.04	4.9	0.044 8	4.2	45.2	1.2	44	2
YN5-5.1	1 136	786	0.72	6.87	0.84	0.007	2.3	0.05	4.2	0.048 3	3.5	44.9	1	43	2
YN5-6.1	714	544	0.79	4.66	0.65	0.007 6	2.3	0.05	4.9	0.048 5	4.3	48.5	1.1	48	2
YN5-7.1	1 115	867	0.8	6.63	0	0.006 9	2.2	0.04	5.5	0.040 1	5	44.5	1	47	2
YN5-7.2	780	466	0.62	4.71	1.6	0.007	2.3	0.05	4.7	0.048 7	4.1	44.4	1.1	39	2
YN5-8.1	719	461	0.66	4.18	0	0.006 8	2.6	0.05	5.2	0.051 5	4.5	43.5	1.1	44	2
YN5-8.2	712	375	0.54	3.93	1.92	0.006 3	2.4	0.04	6.4	0.045 5	5.9	40.5	1	41	4
YN5-9.1	1 368	986	0.74	8.69	8.12	0.006 8	3.4	0.04	17.9	0.047 1	17.6	43.6	1.6	43	7
NIL-02															
NL2-1.1	1 224	894	0.75	7.21	1.11	0.006 78	2.0	0.043 3	4.6	0.046 4	4.2	43.5	0.92	44.0	2.3
NL2-2.1	1 594	900	0.58	9.82	1.54	0.007 06	2.0	0.041 7	3.5	0.043 0	2.8	45.3	0.93	47.2	2.3
NL2-3.1	1 981	1 145	0.60	12.1	1.53	0.006 98	2.0	0.046 2	2.9	0.047 9	2.2	44.9	0.91	43.6	1.9
NL2-4.1	1 184	816	0.71	6.99	2.65	0.006 68	2.2	0.039 5	6.3	0.042 7	6.0	43.1	1.00	41.7	2.7
NL2-5.1	1 440	688	0.49	8.68	1.15	0.006 94	2.0	0.042 9	4.8	0.045 1	4.4	44.4	0.91	48.3	2.3
NL2-6.1	1 214	539	0.46	7.28	3.07	0.006 77	2.1	0.047 6	4.2	0.050 4	3.7	43.8	0.92	35.9	4.9
NL2-7.1	1 614	750	0.48	9.12	1.72	0.006 46	2.0	0.042 6	3.2	0.047 4	2.5	41.8	0.85	36.9	2.7
NL2-8.1	2 111	1 497	0.73	13.2	1.83	0.007 13	2.0	0.045 7	3.0	0.046 3	2.3	45.9	0.94	44.3	1.9
NL2-9.1	1 547	1 018	0.68	9.09	2.28	0.006 68	2.0	0.042 9	3.5	0.046 5	2.9	43.0	0.90	42.7	2.4
NL2-10.1	879	352	0.41	5.04	1.90	0.006 55	2.2	0.045 7	4.7	0.050 2	4.3	42.3	0.92	36.7	4.2
NL2-11.1	1 138	551	0.50	6.61	1.07	0.006 69	2.0	0.039 4	3.7	0.042 7	3.1	43.0	0.89	42.8	1.8
NL2-12.1	1 309	518	0.41	7.70	1.07	0.006 77	2.0	0.042 9	3.4	0.045 8	2.7	43.6	0.89	42.4	2.6

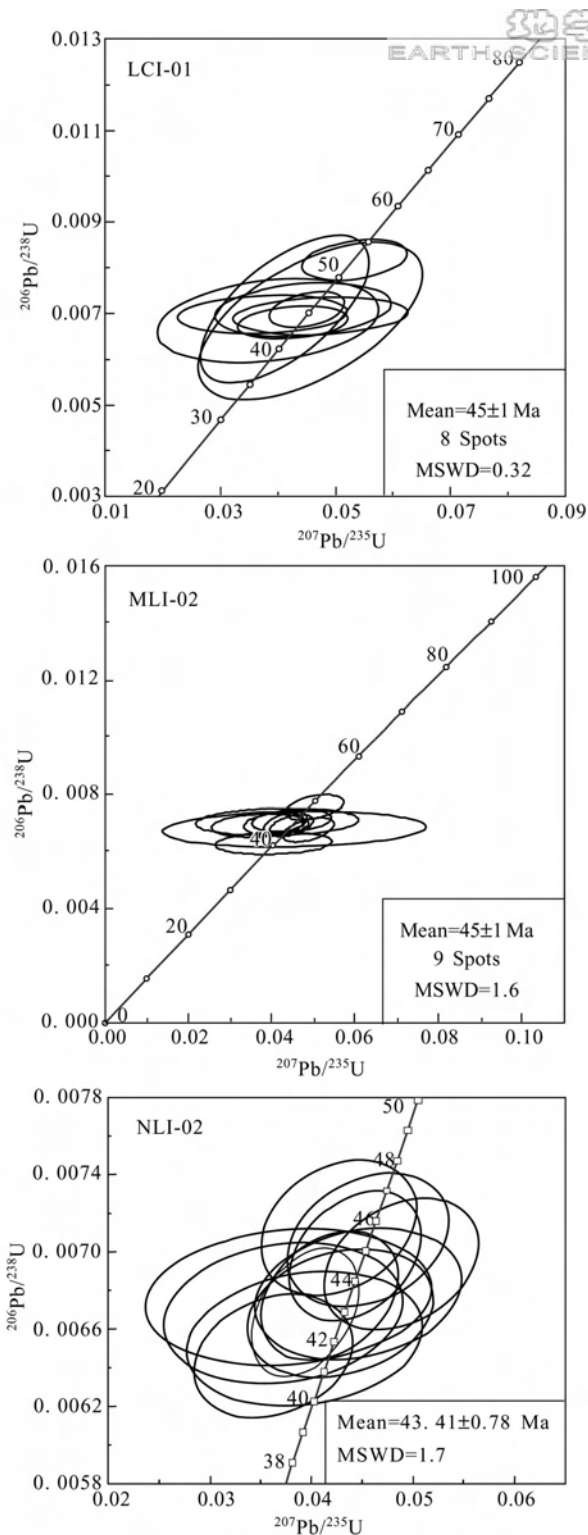


图7 中缅毗邻区金腊花岗岩老厂岩体(LCI-01)、勐林山岩体(MLI-02)和南腊岩体(NLI-02)锆石 U-Pb 一致曲线图

Fig. 7 Concordia diagrams of zircon U-Pb ages for Jinla granitoid samples from Laochang amphibole admellite(LCI-01), Menglinshan biotite admellite(MLI-02) and Nanla K-feldspar granite porphyry(NLI-02) across China and Myanmar

4.2 分析结果

分析结果见图7和表5。如图6所示, 锆石多呈长柱状, 部分呈短柱状, 自形程度较高, 岩浆结晶环带清晰, 个别锆石颗粒核部有残留的继承锆石。

老厂岩体和勐林山岩体锆石颗粒分布基本一致, 长约120~220 μm , 长宽比约为2:1~3:1; 而南腊岩体锆石稍大, 长约150~500 μm , 长宽比约为2:1~5:1。

由表5可知, 老厂岩体的锆石 $^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$ 比值分布(0.62~0.84)与勐林山岩体(0.54~0.80)基本一致, 南腊岩体锆石稍低(0.41~0.75)。对于 $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$, 老厂岩体锆石(0.02~0.06)分布范围相对较宽, 而勐林山岩体锆石(0.04~0.05)和南腊岩体锆石(0.04~0.05)一致; $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 在上述岩体锆石中与 $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 具有类似的分布。从上述岩体的锆石同位素比值分析, 在一些同位素比值上, 勐林山岩体有与老厂岩体相似的一面; 在另一些同位素比值上又有与南腊岩体相似的一面。结合矿物学、主量元素和稀土元素特征分析, 老厂岩体相对幔源成分占主导地位, 南腊岩体以壳源成分占主导地位, 勐林山岩体成分介于老厂岩体与南腊岩体之间。

对老厂岩体10粒锆石11个点进行离子探针分析, 除3个异常点给出较高的年龄值(1160.7 Ma、420.8 Ma和52.4 Ma)外, 其余8个点给出一致性U-Pb谐和年龄(45 \pm 1) Ma, MSWD=0.32。

对勐林山岩体8粒锆石10个点进行离子探针分析, 除1个点给出较低的年龄值(40.5 Ma)外, 其余9个点给出一致性U-Pb谐和年龄(45 \pm 1) Ma, MSWD=1.6。

对南腊岩体12粒锆石12个点进行离子探针分析, 除1个点给出较高的年龄值(45.9 Ma)外, 其余11个点给出一致性U-Pb谐和年龄(43.41 \pm 0.78) Ma, MSWD=1.7。

上述分析结果表明: 老厂似斑状角闪二长花岗岩和勐林山似斑状黑云二长花岗岩的成岩年龄皆为(45 \pm 1) Ma; 南腊碱长花岗斑岩的成岩年龄为(43.41 \pm 0.78) Ma, 比前两个岩体稍晚。

5 讨论

根据Barbarin^[20]的划分标准, 铝饱和指数(A/CNK)大于1, 为过铝花岗岩, 因此勐林山似斑状黑云母二长花岗岩和南腊碱长花岗斑岩为过铝花岗

岩,其物质来源为地壳源;而老厂似斑状角闪二长花岗岩铝饱和指数(A/CNK)小于1,且 $Al_2O_3 > Na_2O + K_2O$ 为偏铝钙碱性花岗岩,属壳幔混合源的。但根据 Barbarin^[20]的另一结论富 K_2O 、贫CaO的富K花岗岩是壳幔混合源的,且以壳源成分为主,所以,南腊碱长花岗斑岩是以壳源成分为主混有少量幔源成分的混合型花岗岩。花岗岩本质上属于壳幔相互作用的产物,自然界大多数花岗岩被认为既含有幔源成分又含有壳源成分,即使起源于地幔的花岗岩在上侵过程中与地壳发生同化混染作用,亦会含有一定的壳源组分^[20]。

稀土元素和某些微量元素(Zr/Hf、Nb/Ta、Rb/Sr、Rb/Ba、K/Rb、(Rb/Yb)_N、Sr*、K*和Zr*)表明:形成本区花岗岩的岩浆可能来自壳幔相互作用形成的同一源区,上述三个花岗岩体代表了构造岩浆演化过程中不同演化阶段岩浆结晶分异的产物,但它们的壳幔组成比例不同,老厂似斑状角闪二长花岗岩含有更多的幔源组分,其次是勐林山似斑状黑云二长花岗岩,南腊碱长花岗斑岩是以壳源成分为主混有少量幔源成分的混合型花岗岩。陆壳熔融形成的过铝花岗质岩浆亦能参与形成富K钙碱性花岗岩^[20]。

虽然碱长花岗岩(富K花岗岩)既可形成于碰撞顶峰过后的张弛环境,亦可形成于从挤压状态转向拉伸状态的过渡环境^[46-47],但在与大陆碰撞相关的造山带最为发育,且形成于碰撞过程即将结束的时刻,而含有白色或粉红色钾长石巨晶的富K花岗岩也发育于后碰撞隆升造山带^[20]。

锆石同位素测年(43~45 Ma)和微量元素蛛网图表明:金腊三类花岗岩形成于喜马拉雅同碰撞造山成矿作用末期的伸展构造环境^[11,48],具有碰撞造山带花岗岩特征。此外,老厂似斑状角闪二长花岗岩继承性残留锆石给出的1 160.7 Ma年龄值表明,形成上述花岗岩的岩浆可能主要是在构造作用下,自新元古代以来的地壳物质部分熔融的产物。

晚始新世至渐新世时,由于印度板块与欧亚板块的强烈俯冲碰撞,三江地区结束特提斯演化,全面进入强烈隆升和伸展调节阶段。印度板块向欧亚板块之下持续强烈俯冲,造成俯冲带前缘加积增生,导致岩石圈物质失衡,而发生物质的侧向和垂向运动;诱发不同构造层圈的滑脱、拆离、逆冲、推覆和大规模陆内变形,导致三叠纪形成的造山带重新活化,致使三江地区新生代侵入岩的形成和分布严格受其构

造热事件的控制。在这种复杂的演变过程中,形成众多的铜金、铅锌银、钨锡等矿产^[14,49]。金腊Pb-Zn-Ag多金属矿田内形成的花岗岩类和研究区北部同一构造单元孟定一带的古近纪花岗岩类(全岩K-Ar年龄50 Ma)^[50]恰是两大板块同碰撞造山后期阶段局部拉伸环境下形成的以壳源物质为主的混合花岗质岩浆多阶段结晶分异的产物。

6 结论

(1)在金腊花岗岩三种岩石类型中,老厂似斑状角闪二长花岗岩和勐林山似斑状黑云二长花岗岩的锆石同位素U-Pb年龄皆为(45±1)Ma,形成于岩浆结晶分异早期阶段的深成环境,南腊碱长花岗斑岩的锆石同位素U-Pb年龄为(43.41±0.78)Ma,形成于岩浆结晶分异晚期阶段。早期形成的老厂似斑状角闪二长花岗岩和勐林山似斑状黑云二长花岗岩含有更多的幔源组分,而晚期形成的南腊碱长花岗斑岩则以壳源成分为主混有少量幔源成分。

(2)主量元素和微量元素(稀土元素和某些微量元素(Zr/Hf、Nb/Ta、Rb/Sr、Rb/Ba、K/Rb、(Rb/Yb)_N、Sr*、K*和Zr*))结合同位素测年研究表明:本区花岗岩形成于喜马拉雅同碰撞造山成矿作用末期局部拉伸构造环境,其岩浆可能来自壳幔相互作用引发的地壳部分熔融且混有一定的幔源组分,上述三个花岗岩体代表了花岗岩类为构造岩浆演化过程中不同演化阶段岩浆结晶分异的产物。

(3)成矿元素研究表明:相对中国花岗岩,虽然老厂似斑状角闪二长花岗岩和勐林山似斑状黑云二长花岗岩也浓集一些成矿元素,但南腊碱长花岗斑岩不仅更富集W、Cu、Bi、Sb、Mo、Sn、Ag、Pb和Au等成矿元素,而且还强烈富集F、B和As等矿化剂元素,因此,碱长花岗斑岩是最有成矿远景的岩体。

莫宣学教授、吴才来研究员和论文手稿评议员仔细阅读了全文,并提出许多建设性修改意见,此外,北京离子探针中心、武汉岩矿测试中心分别测试相关样品,在此深表感谢!

References:

- [1] Hou Z Q, Yang Z S, Xu W Y, et al. Metallogensis in Tibetan collisional orogenic belt: I. Mineralization in main collisional orogenic setting[J]. Mineral Deposits, 2006, 25(4):

- 337-358(in Chinese).
- [2] Hou Z Q, Lü Q T, Wang A J, et al. Continental collision and related metallogeny: A case study of mineralization in Tibetan orogen[J]. *Mineral Deposits*, 2003, 22(4): 319-333 (in Chinese).
- [3] Hou Z Q, Gao Y F, Meng X J, et al. Genesis of adakitic porphyry and tectonic controls on the Gangdese Miocene porphyry copper belt in the Tibetan orogen[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2004, 20(2): 39-48(in Chinese).
- [4] Hou Z Q, Zhong D L, Deng W M. A tectonic model for porphyry copper-molybdenum-gold metallogenic belts on the eastern margin of the Qinghai-Tibet Plateau[J]. *Geology in China*, 2004, 31(1): 1-14(in Chinese).
- [5] Hou Z Q, Zeng P S, Gao Y F, et al. Himalayan Cu-Mo-Au mineralization in the eastern Indo-Asian collision zone: Constraints from Re-Os dating of molybdenite[J]. *Mineralium Deposita*, 2006, 41: 33-45.
- [6] Ma H W. *Granitoids and Mineralization of the Yulong Porphyry Copper Belt in Eastern Tibet*[M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1994: 1-158(in Chinese).
- [7] Rui Z Y, Hou Z Q, Qu X M, et al. Metallogenetic epoch of Gangdese porphyry copper belt and uplift of Qinghai-Tibet Plateau[J]. *Mineral Deposits*, 2003, 21(3): 217-225(in Chinese).
- [8] Rui Z Y, Li G M, Zhang L S, et al. The response of porphyry copper deposits to important geological events in Xizang[J]. *Earth Science Frontiers*, 2004, 11(1): 145-152(in Chinese).
- [9] Williams H M, Turner S P, Pearce J A, et al. Nature of the source regions for post-collisional, potassic magmatism in southern and northern Tibet from geochemical variations and inverse trace element modeling[J]. *Journal of Petrology*, 2004, 45: 555-607.
- [10] Zhang Y Q, Xie Y W, Qiu H N, et al. Shoshonitic series; Sr, Nd, and Pb isotopic compositions of ore bearing porphyry for Yulong copper ore belt in the eastern Xizang (Tibet)[J]. *Scientia Geologica Sinica*, 1998, 33(3): 3-10(in Chinese).
- [11] Hou Z Q, Mo X X, Yang Z M, et al. Metallogenesis in the collisional orogen of the Qinghai-Tibet Plateau: Tectonic setting, tempo-spatial distribution and ore deposit types[J]. *Geology in China*, 2006, 33(2): 340-351(in Chinese).
- [12] Zhang Q, Wang Y L, Jin W J, et al. Criteria for the recognition of pre-, syn-, and post-orogenic granitic rocks[J]. *Geological Bulletin of China*, 2008, 27(1): 1-18(in Chinese).
- [13] Li J S. Application of IP method to prospecting blind Pb-Zn orebody in Jinchang, Myanmar[J]. *Yunnan Geology*, 2002, 21(4): 428-436(in Chinese).
- [14] Wang Y Z, Li X L, Duan L L, et al. Tectonics and Metallogenesis on South Area of Sanjiang Ore-forming Belt[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2000: 1-120(in Chinese).
- [15] Yang Y B. On the metallogenesis and ore prospecting in Kachin-Shan Area, Myanmar[J]. *Yunnan Geology*, 2002, 21(4): 413-420(in Chinese).
- [16] Chen Y Q, Lu Y X, Xia Q L, et al. Geochemical characteristics of the Hetaoping Pb-Zn deposit, Baoshan-Zhenkang terrain, the western Yunnan province, and its genetic model as well as ore prospecting pattern[J]. *Geology in China*, 2005, 32(1): 90-99(in Chinese).
- [17] Dong W W. The metallogenetic conditions and typical model in Baoshan-Zhenkang massif[J]. *Yunnan Geology*, 2007, 26(1): 56-61(in Chinese).
- [18] Dong W W, Chen S L. The characteristics and genesis of Luziyuan Pb-Zn deposit, Zhenkang, southwestern China[J]. *Yunnan Geology*, 2007, 26(4): 404-410(in Chinese).
- [19] Xia Q L, Chen Y Q, Lu Y X, et al. Geochemistry, fluid inclusion, and stable studies of Luziyuan Pb-Zn deposit in Yunnan Province, Southwestern China[J]. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 2005, 30(2): 177-186(in Chinese).
- [20] Barbarin B. A review of the relationships between granitoid types, their origins and their geodynamic environments[J]. *Lithos*, 1999, 46: 605-626.
- [21] Qiu J X, Lin J Q. *Rock Chemistry*[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1991: 1-276(in Chinese).
- [22] Wright J B. A simple alkalinity ratio and its application to question of non-orogenic granite genesis[J]. *Geol Mag*, 1969, 106(4): 370-384.
- [23] Le Maitre R W. *A Classification of Igneous Rocks and Glossary of Terms*[M]. Oxford: Blackwell Scientific Publications, 1989: 1-193.
- [24] Maniar P D, Piccoli P M. Tectonic discrimination of granitoids[J]. *Geol Soc Am Bull*, 1989, 101: 635-643.
- [25] Takahashi M, Aramaki S, Ishihara S. Magnetic-series/ilmenite-series vs. I-type/S-type granitoids. Granitic magmatism and related mineralization[J]. *Mining Geology Special Issue*, 1980, 8: 13-28.
- [26] Boynton W V. Geochemistry of the rare earth elements; Meteorite studies[M]//Henderson P. *Rare Earth Elements Geochemistry*. Amsterdam: Elsevier, 1984: 63-144.
- [27] Li C N. *Petrology on Trace Elements of Igneous Rock*[M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1992: 1-195 (in Chinese).
- [28] Pearce J A, Harris N B, Tindle A G. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks[J]. *J Petrol*, 1984, 21: 956-983.
- [29] Bowen N L. The melting phenomena of the plagioclase feld-

- spars[J]. American Journal of Science, 1913, 35: 577-599.
- [30] Schairer J F, Bowen N L. Melting relations in the system $\text{Na}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ and $\text{K}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ [J]. American Journal of Science, 1947, 245: 193-204.
- [31] Xiao Q H, Deng J F, Ma D Q. Thought and Methodology on Granitoids[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2002; 1-294(in Chinese).
- [32] Wu F Y, Li X H, Yang J H, et al. Discussion on the petrogenesis of granites[J]. Acta Petrologica Sinica, 2007, 23(6): 1217-1238(in Chinese).
- [33] McDonough W F, Sun S S. The composition of the Earth [J]. Chemical Geology, 1995, 120: 223-253.
- [34] Wedepohl K H. The composition of the continental crust[J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1995, 59(7): 1217-1232.
- [35] Saager R, Meyer M, Muff R. Gold distribution in supracrustal rocks from Archean greenstone belts of southern Africa and Palaeozoic ultramafic complexes of the European Alps; Metallogenetic and geochemical implications[J]. Econ Geol, 1982, 77: 1-24.
- [36] Mu R S. Gold-metallogenic background—Gold-bearing geological formation[J]. Contributions to Geology and Mineral Resources Research, 1987, 2(4): 62-69(in Chinese).
- [37] Liu Y J, Ma D S. Geochemical characteristics of gold-bearing formation in south China[J]. Contributions to Geology and Mineral Resources Research, 1987, 2(4): 1-14(in Chinese).
- [38] Chen Y Q, Zhao P D, Liu H G. Accumulation and evolution of ore-forming composition of gold deposits in the western Shandong uplift terrain[J]. Earth Science—Journal of China University of Geosciences, 2001, 26(1): 41-48(in Chinese).
- [39] Xie X J, Liu D W, Xiang Y C. Geochemical blocks for predicting large ore deposits—Concept and methodology[J]. Journal of Geochemical Exploration, 2004, 84: 77-91.
- [40] Yan M C, Chi Q H. The Chemical Compositions of the Continental Crust and Rocks in the Eastern Part of China[M]. Beijing: Science Press, 2005: 64-66.
- [41] Compston W, Williams I S, Kirschvink J L, et al. Zircon U-Pb ages for the Early Cambrian time-scale[J]. J Geol Soc London, 1992, 149: 171-184.
- [42] Williams I S. U-Th-Pb geochronology by ion microprobe. Applications of microanalytical techniques to understanding mineralizing processes[J]. Rev Econ Geol, 1998, 7: 1-35.
- [43] Davis D W, Williams I S, Krogh T E. Historical development of zircon geochronology[J]. Rev Mineralogy and Geochemistry, 2003, 53(1): 145-181.
- [44] Ludwig K R. A User's Manual[M]. Berkely: Berkely Geochronology Center, Special Publication, 2001: 1-35.
- [45] Ludwig K R. User's Manual for Isoplot: A Geochronological Tool for Microsoft Excel[M]. Berkely Geochronology Center, Special Publication, 2003: 1-70.
- [46] Lameyre J. Granite settings and tectonics[J]. Rend Soc Ital Mineral Petrol, 1988, 43: 215-236.
- [47] Bonin B. From orogenic to anorogenic settings: Evolution of granitoid suites after a major orogenesis[J]. Geol J, 1990, 25: 261-270.
- [48] Dong F L, Hou Z Q, Gao Y F, et al. Cenozoic granitoid in Tengchong, western Yunnan; Genesis type and implication for tectonics[J]. Acta Petrologica Sinica, 2006, 22(4): 27-37(in Chinese).
- [49] Shen G F, Lü B X. Petrogenesis and Metallogenesis of Cenozoic Intrusive Rocks in Sanjiang Ore-forming Belt[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2000: 1-136(in Chinese).
- [50] Yu S Y, Yang S P, Li K Q. The genesis and evolution of Palaeogene granitoid magma in Gengma area, southern Yunnan province, southwestern China[J]. Yunnan Geology, 2004, 23(2): 217-232(in Chinese).

参考文献:

- [1] 侯增谦,杨竹森,徐文艺,等. 青藏高原碰撞造山带: I. 主碰撞造山成矿作用[J]. 矿床地质, 2006, 25(4): 337-358.
- [2] 侯增谦, 吕庆田, 王安建, 等. 初论陆-陆碰撞与成矿作用——以青藏高原造山带为例[J]. 矿床地质, 2003, 22(4): 319-333.
- [3] 侯增谦, 高永丰, 孟祥金, 等. 西藏冈底斯中新世斑岩铜矿带: 埃达克质斑岩成因与构造控制[J]. 岩石学报, 2004, 20(2): 39-48.
- [4] 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): 1-14.
- [6] 马鸿文. 藏东玉龙斑岩铜矿带花岗岩类与成矿[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1994: 1-158.
- [7] 芮宗瑶, 侯增谦, 曲晓明, 等. 冈底斯斑岩铜矿成矿时代及青藏高原隆升[J]. 矿床地质, 2003, 21(3): 217-225.
- [8] 芮宗瑶, 李光明, 张立生, 等. 西藏斑岩铜矿对重大地质事件的响应[J]. 地学前缘, 2004, 11(1): 145-152.
- [10] 张玉泉, 谢应雯, 邱华宁, 等. 钾玄岩系列: 藏东玉龙铜矿带含矿斑岩 Sr、Nd、Pb 同位素组成[J]. 地质科学, 1998, 33(3): 3-10.
- [11] 侯增谦, 莫宣学, 杨志明, 等. 青藏高原碰撞造山带成矿作用: 构造背景、时空分布和主要类型[J]. 中国地质, 2006, 33(2): 340-351.
- [12] 张旗, 王元龙, 金惟俊, 等. 造山前、造山和造山后花岗岩的识别[J]. 地质通报, 2008, 27(1): 1-18.
- [13] 李家盛. 应用激电法在缅甸金厂铅锌矿寻找隐伏矿体[J]. 云南地质, 2002, 21(4): 428-436.
- [14] 王义昭, 李兴林, 段丽兰, 等. 三江地区南段大地构造与成矿[M]. 北京: 地质出版社, 2000: 1-120.

- [15] 杨云保. 缅甸克钦邦一掸邦地区成矿与找矿[J]. 云南地质, 2002, 21(4): 413-420.
- [16] 陈永清, 卢映祥, 夏庆霖, 等. 云南保山核桃坪铅锌矿床地球化学特征及其成矿模式与找矿模型[J]. 中国地质, 2005, 32(1): 90-99.
- [17] 董文伟. 保山镇康地块成矿条件及典型矿床成矿模式[J]. 云南地质, 2007, 26(1): 56-61.
- [18] 董文伟, 陈少玲. 镇康芦子园铅锌矿床特征及成因[J]. 云南地质, 2007, 26(4): 404-410.
- [19] 夏庆霖, 陈永清, 卢映祥, 等. 云南芦子园铅锌矿床地球化学、流体包裹体及稳定同位素特征[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 2005, 30(2): 177-186.
- [21] 邱家骧, 林景任. 岩石化学[M]. 北京: 地质出版社, 1991: 1-276.
- [27] 李昌年. 火成岩微量元素岩石学[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1992: 1-195.
- [31] 潘庆辉, 邓晋福, 马大铨. 花岗岩研究思维与方法[M]. 北京: 地质出版社, 2002: 1-294.
- [32] 吴福元, 李献华, 杨进辉, 等. 花岗岩成因研究的若干问题[J]. 岩石学报, 2007, 23(6): 1217-1238.
- [36] 母瑞身. 论述金的成矿背景——含金地质建造[J]. 地质找矿论丛, 1987, 2(4): 62-69.
- [37] 刘英俊, 马东升. 华南含金建造的地球化学特征[J]. 地质找矿论丛, 1987, 2(4): 1-14.
- [38] 陈永清, 赵鹏大, 刘红光. 鲁西金矿组分的聚集与演化[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 2001, 26(1): 41-48.
- [48] 董方浏, 侯增谦, 高永丰, 等. 滇西腾冲新生代花岗岩: 成因类型与构造意义[J]. 岩石学报, 2006, 22(4): 27-37.
- [49] 沈致富, 吕伯西. 西南三江地区新生代侵入岩的成岩与成矿[M]. 北京: 地质出版社, 2000: 1-136.
- [50] 俞赛赢, 杨士潘, 李昆琼. 耿马一带古近纪花岗岩类岩浆成因及演化[J]. 云南地质, 2004, 23(2): 217-232.