

云南澜沧老厂隐伏花岗斑岩体地球化学特征 及构造环境

杨帆, 李峰, 陈珩, 肖静珊, 赵晓勇

(昆明理工大学 国土资源工程学院, 云南 昆明 650093)

摘要:详细阐述了老厂隐伏花岗斑岩体的地球化学特征,利用图解判别了其形成的构造环境,并初步探讨其成因机制。老厂花岗斑岩 SiO₂ 含量(68.09%~73.48%)与中国花岗岩平均值基本相当,富碱(Na₂O+K₂O为7.73%~8.51%),富钾(K₂O/Na₂O为1.85~25.8),属酸性偏铝质高钾钙碱性系列岩浆岩。轻稀土元素中等富集,重稀土元素相对亏损($(La/Yb)_N=12.01\sim 24.85$, $\delta Eu=0.79\sim 0.99$ 为弱负异常)稀土元素分布曲线为平滑的右倾曲线。通过花岗斑岩地球化学特征、图解判别、锆石标型特征等的综合研究,认为老厂隐伏花岗斑岩体是以壳源为主的壳幔源混合成因花岗斑岩,形成于青藏高原新生代碰撞造山主碰撞阶段区域挤压机制下的主碰撞构造环境。碰撞激发深部地幔局部熔融,使熔融体沿渗透性构造发育的早期裂谷带轴部上涌,成为构造-岩浆-热事件的主要驱动力,地幔物质涌入,向下地壳注入新生物质,诱发下地壳物质熔融,形成壳幔混合源富钾含矿岩浆。

关键词:隐伏花岗斑岩 地球化学特征 构造环境 澜沧老厂 云南

中图分类号:P588.13;P59;P542

文献标识码:A

文章编号:1000-6524(2012)01-0039-11

Geochemistry and tectonic setting of the Laochang concealed granite porphyry in Lancang, Yunnan Province

YANG Fan, LI Feng, CHEN Hui, XIAO Jing-shan and ZHAO Xiao-yong

(Department of Land Resources Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, China)

Abstract: Located in the Sangjiang metallogenic belt, Laochang is one of the important noble metal and nonferrous metal ore-forming belts of southwestern China, whose geotectonic location is very unique with rich ore resources and lots of metal deposits. Laochang is one of the areas with significant breakthrough for new discovery of great thick porphyry molybdenum ore bodies in the depth since 2008. Geochemical characteristics of the concealed granite porphyry in the Laochang ore deposit were studied in this paper. Tectonic setting and genetic mechanism of the granite porphyry were investigated by using various discrimination diagrams. Petrologic research indicates that granite porphyry of this area is light gray and grayish white in color and has porphyritic texture and massive structure. Phenocrysts are mainly composed of orthoclase, quartz, plagioclase and biotite, whereas the matrixes are composed of equiaxial fine-grained orthoclase and quartz. It is concluded that chemical compositions of the concealed granite porphyry in Laochang are characterized by the similarity to China's granite porphyry in average SiO₂ (68.09%~73.48%), alkali enrichment (Na₂O+K₂O=7.73%~8.51%), K enrichment (K₂O/Na₂O=1.85~25.8), LREE enrichment, HREE depletion, (La/Yb)_N varying from 12.01 to 24.85, weak negative Eu anomaly (δEu varying from 0.79 to 0.99), and smoothly right-declined REE distribution pattern. Thus, the granite porphyry belongs to acid, aluminum medium-saturated, high-K calc-alkalic

收稿日期:2010-10-05;修订日期:2011-04-08

基金项目:全国危机矿山接替资源找矿项目(200653056)

作者简介:杨帆(1985-),男,汉,硕士研究生,主要从事构造地球化学研究,E-mail:50468790@qq.com;通讯作者:李峰(1957-),男,教授,主要从事区域成矿学研究,E-mail:lifeng@kmust.edu.cn

series of magmatic rock. A comprehensive study of geochemical characteristics by using discrimination diagrams and zircon features of concealed granite porphyry in Laochang indicates that the granite body was mainly derived from crust source mixed with minor mantle materials and formed at the main collision stage of the Cenozoic collisional orogeny of the Tibetan Plateau under the regional compressional environment. Zircon SHRIMP U-Pb dating of the Laochang granite porphyry yielded 44.6 ± 1.1 Ma. The chronologic age shows that the granite porphyry was formed in Eocene. The petrogenesis and mineralization of the Laochang granite porphyry took place during the main collisional stage of the Cenozoic intracontinental collision orogeny, and this is consistent well with metallogenic peak period of porphyry type deposits in the Sangjiang region. Based on the results from Sr-Yb classification of granite-porphyry diagram, R_1 - R_2 discriminating tectonic setting of granite-porphyry diagram and regional tectonic development, it is suggested that the Laochang granite porphyry was formed in the collisional setting. The magma, which was derived from partial melting of deep mantle initiated by collision, experienced upwelling through the core part of early developed rift, and became a major driving force for structural, magmatic and thermal events. The input of mantle material into the crust induced partial melting of the lower crust to form a potassium-rich ore-bearing magma with mixed sources of the crust and the mantle.

Key words: concealed granite porphyry; geochemistry; tectonic environment; Laochang in Lancang; Yunnan

澜沧老厂银多金属矿床位于澜沧县北西约 30 km 处。20 世纪 80 年代末前,普遍认为老厂矿区无侵入岩浆岩。1988 年,西南有色 309 队在 ZK15006 近终孔处揭露到花岗斑岩脉。之后,ZK15007 和 ZK15106 等孔陆续见到花岗质细脉,部分钻孔中还发现与隐伏岩浆侵入作用有关的夕卡岩等。据此,徐楚明等(1991)、欧阳成甫等(1991,1993)先后提出老厂矿床与隐伏花岗斑岩有成因联系。由于前人对隐伏花岗斑岩的了解有限,导致近 20 年来与深部斑岩有关的矿化未受到足够重视。在 2007 年至 2008 年间进行的“危机矿山接替资源找矿专项:云南省澜沧县澜沧铅矿接替资源勘查项目”实施过程中,先后在深部钻孔中发现了含铜黄铁矿矿体和厚大的斑岩钨(铜)矿体等新矿化类型,使找矿获得突破性进展(李峰等 2009a)。陈琿等(2010a)通过 SHRIMP 锆石测年技术对斑岩岩体年龄进行了研究,获得了代表花岗斑岩结晶年龄 44.6 ± 1.1 Ma。本文在此基础上进一步阐述了老厂花岗斑岩体的地球化学特征,结合区域动力学背景,讨论其形成的构造环境及成因。

1 地质背景及岩石学特征

1.1 地质背景

云南澜沧老厂银多金属矿床位于滇西澜沧江断裂以西的昌宁-孟连裂谷带南段,处于印度板块与华南板块接触带附近,是多种地质构造环境叠加演变

的地区,是“三江”成矿带重要的代表性矿床之一(叶庆同等,1992;王义昭等,2000;王登红等,2006)。

矿区内出露晚古生代地层(图 1),其中,下石炭统依柳组为中基性火山岩为主的火山-沉积岩系,细分为 8 个岩性层,主要由两大旋回的熔岩-集块岩-角砾岩-凝灰岩-沉凝灰岩-砂页岩及白云质灰岩等组成。其上为连续过渡的中、上石炭统-下二叠统,以浅海碳酸盐岩为主。本区隐伏花岗斑岩侵位于这套石炭系的火山岩中。

矿区地质构造作用强烈,断层十分发育,以南北向 F_1 、 F_3 、 F_8 、 F_{11} 等为主,其次为北西向 F_4 、 F_{10} 和北东向 F_7 、 F_9 ,各组断层相互交错(图 1)。其中南北向和北西向断层对矿化起主要控制作用,3 个逆断层 F_1 、 F_3 、 F_{11} 为导矿及容矿构造, F_1 、 F_3 、 F_4 共同控制老厂矿床展布。褶皱构造主要为轴向近于南北的宽缓背斜,如老厂背斜、睡狮山向斜。

1.2 隐伏花岗斑岩岩体特征

迄今为止,已有 7 个钻孔打到花岗斑岩体(脉),以 ZK153101、ZK14827、ZK15501 和 ZK14830 孔的揭露情况较好。在这些钻孔中揭露到的岩体及与之有关的辉钼矿化、夕卡岩化主要分布在 F_3 断裂以东、 F_4 断裂以西的 144 线~9 线之间。隐伏花岗斑岩体侵入的最高层均为 C_1^{5+6} ,总体受 F_1 、 F_4 断层及老厂背斜轴部控制,整体呈北北西向分布(图 1),顶面埋深大致在 800~1 000 m。由于目前深部控制,对岩体产状、顶面形态的分析预测尚待更多新的深部找矿工程实施后,进一步分析确认。

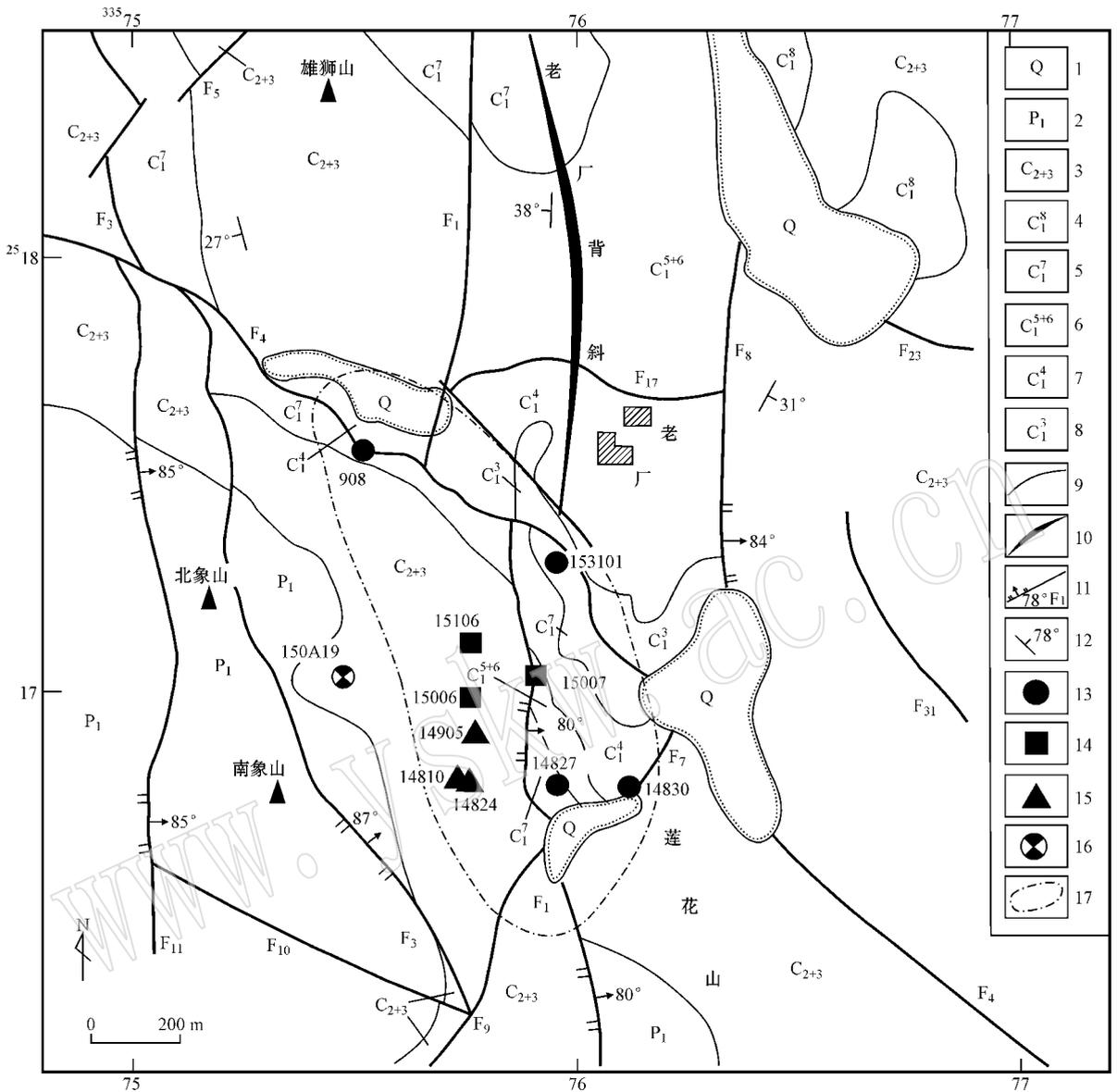


图 1 云南澜沧老厂矿区地质简图

Fig. 1 Geological sketch map of the Laochang ore district in Lancang, Yunnan

1—第四系坡积冲积层；2—二叠统块状白云质灰岩；3—中上石炭统珊瑚灰岩；4—下石炭统沉积岩；5—下石炭统玄武岩及其凝灰岩；6—下石炭统粗面安山质凝灰岩；7—下石炭统安山质凝灰岩砾岩夹凝灰岩；8—下石炭统安山岩、集块岩；9—地质界线；10—背斜轴；11—断层及编号；12—地层产状；13—见斑岩、砂卡岩、辉钼矿钻孔；14—见花岗岩斑岩钻孔；15—见砂卡岩、辉钼矿钻孔；16—见砂卡岩钻孔；17—预测花岗岩斑岩体范围

1—Quaternary drift and alluvial deposit ; 2—Lower Permian dolomitic limestone ; 3—Middle and Upper Carboniferous coral limestone ; 4—Lower Carboniferous sedimentary rock ; 5—Lower Carboniferous basalt and basaltic tuff ; 6—Lower Carboniferous trachyandesitic tuff ; 7—Lower Carboniferous andesitic tuff breccia intercalated with sedimentary tuff ; 8—Lower Carboniferous andesite and agglomerate ; 9—geological boundary ; 10—anticlinal axis ; 11—fault and its serial number ; 12—dipping orientation and dipping angle ; 13—drilling hole intersecting granite porphyry , skarn and molybdenite ; 14—drilling hole intersecting granite porphyry ; 15—drilling hole intersecting skarn and molybdenite ; 16—drilling hole intersecting skarn ; 17—inferred granite porphyry zone

隐伏花岗斑岩总体呈浅灰、灰白色致密块状，斑状结构。岩石有多期石英脉穿插，黄铁矿呈细脉、浸染状分布于岩石当中，辉钼矿多分布于石英脉中及旁侧，有少量呈浸染状分布于岩石中(图 2a)。镜下

斑晶主要由正长石、石英、斜长石和黑云母组成(图 2b)。正长石斑晶呈乳白-肉红色，宽板状，晶型较好，多在 2 mm~1.5 cm 之间，大者 3~4 cm，有些被钾化成肉红色，斜长石斑晶呈白色，板状-短柱状，粒

度 2~8 mm,大者达 1 cm×2 cm,有绢云母化现象;石英斑晶呈浅灰色、淡灰色,自形程度较差。斑岩与凝灰岩呈明显的侵入接触关系,斑岩脉中有围岩俘虏体或捕获的暗色围岩,在岩体一侧见冷凝边,岩体

的外接触带角岩化强烈。在岩体附近的围岩中广泛发育石榴石透辉石夕卡岩,且斑岩及其围岩普遍发生硅化、黄铁矿化、绿泥石化及绿帘石化等。

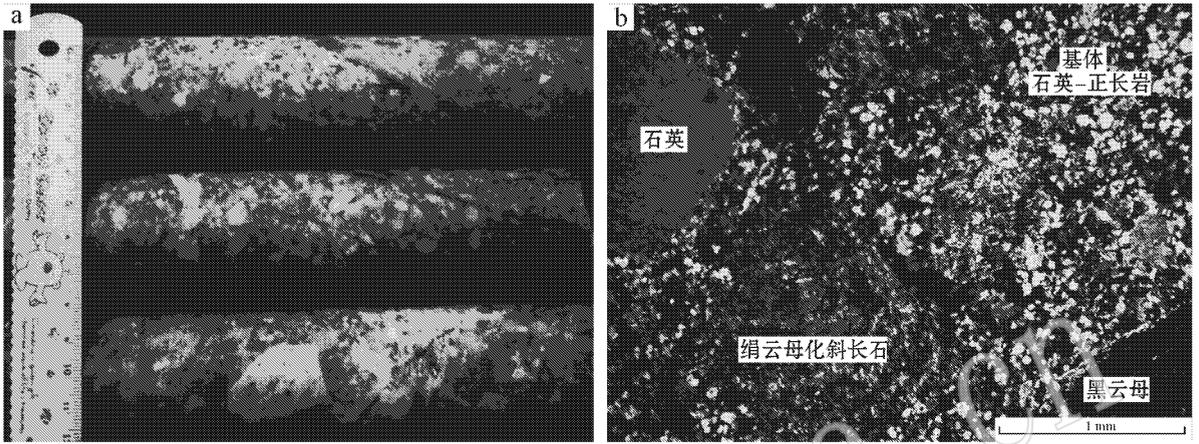


图 2 澜沧老厂花岗斑岩岩心特征及镜下特征

Fig. 2 Core and its microscopic photograph of granite porphyry in Laochang, Lancang

a—ZK14827 深 1030.1~1032.8 m 处花岗斑岩,斑晶大小多在 3~8 mm 之间,少数正长石大斑晶可达 2 cm,岩石硅化强烈,石英脉发育,辉钼矿沿石英脉旁侧呈细脉状产出;b—ZK153101-89 蚀变花岗斑岩,斜长石、黑云母等斑晶普遍蚀变,基质为正长石、石英
a—granite porphyry from core at 1030.1~1032.8 m of ZK14827, phenocryst sizes mainly vary from 3 mm to 8 mm, a few orthoclase phenocrysts are up to 2 cm, rock was silicified strongly, and quartz veins are developed, with molybdenite veinlets along quartz veins;b—ZK153101-89 altered granite porphyry, phenocrysts of plagioclase and biotite are generally altered, matrix consists of orthoclase and quartz

2 地球化学特征

2.1 样品与测试方法

本文选取老厂矿区 ZK14827 斑岩脉及主岩体中 7 件花岗斑岩样品用于化学分析测试。所有样品均采用无污染加工制备,由国土资源部中南矿产资源监督检测中心协助分析测试,测试内容包括全岩分析、微量元素及稀土元素分析。主量元素 SiO_2 、 Al_2O_3 、 TFe_2O_3 、 CaO 、 MgO 、 Na_2O 采用 X 射线荧光光谱法(XFS), FeO 、 CO_2 采用容量法(VOL), H_2O 灼失采用重量法(GR),微量元素和稀土元素采用电感耦合等离子体质谱法(ICP-MS)。

2.2 主量元素特征

老厂花岗斑岩常量元素化学测试分析数据结果见表 1。由表可知,老厂隐伏花岗斑岩体 SiO_2 含量平均 71.26%,在 QAP 图解中大都落在花岗岩区,有 2 个点落在碱长花岗岩区。岩体全碱 $\text{ALK}(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ 平均 7.96%,里特曼指数 $\sigma = 1.93 \sim 2.65$,属于钙碱性岩系,在 $\text{SiO}_2 - (\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ 图解(图 3)中有

4 个点落在钙碱性系列岩石区,4 个点落在碱性系列岩石区。 $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 平均 7.73,为富钾岩体,且在 $\text{K}_2\text{O} - \text{SiO}_2$ 图解(图 3)中落入高钾系列区。铝饱和指数 A/CNK 在 0.958~1.289 之间,平均 $1.03 < 1.1$,在 $A/\text{NK} - A/\text{CNK}$ 图解(图 3)中有 5 个点落在中等铝饱和区,3 个点落在过铝质岩石区。固结指数 $\text{SI} = 4.05 \sim 8.04$,表明岩浆酸性程度高。分异指数 $\text{DI} = 83.23 \sim 89.52$,说明岩浆分异演化彻底,酸性程度高。总的来说,老厂隐伏花岗斑岩体是偏铝质高钾钙碱性花岗岩。

2.3 微量元素与稀土元素特征

老厂花岗斑岩微量元素分析数据见表 2。与中国平均花岗岩相比,老厂花岗斑岩 Cu、Pb、Zn、Cr、Ni、Cs、W、Mo、Bi、Sr、Ba、U 含量相对较高,Co、Rb、Nb、Ta、Zr、Hf、Th 含量较低,Be、V、Sn、Sn 含量基本相当。与地壳元素丰度值相比,大离子亲石元素 K、Rb、Ba、Sr、Cs 相对富集,高场强元素 Nb、Ta、Zr、Hf、P、Th 相对亏损。在微量元素蛛网图中(图 4),K、La、Hf、Tb 相对富集,Nb、Ta、P、Ti 相对亏损,反映了造山带花岗岩及大陆地壳特征。 $\text{Th}/\text{U} = 2.89 \sim$

表 1 老厂花岗斑岩主量元素化学分析测试数据

$w_B/10^{-6}$

Table 1 Major element compositions of granite-porphyry in Laochang

样号	E-51	E-67	E-73	E-76	E-82	E-84	153101-89	15006-2	平均
SiO ₂	70.87	71.41	71.86	71.17	73.48	70.13	68.09	73.07	71.26
TiO ₂	0.34	0.28	0.31	0.29	0.25	0.27	0.22	0.09	0.26
Al ₂ O ₃	13.90	13.16	12.72	13.30	12.16	14.29	14.23	11.38	13.14
Fe ₂ O ₃	0.68	0.73	0.87	0.71	0.94	0.57	1.96	3.58	1.25
FeO	1.01	0.59	0.50	0.75	0.54	0.77	0.80	痕量	0.62
MnO	0.04	0.04	0.05	0.04	0.04	0.04	0.02	0.04	0.04
MgO	0.66	0.62	0.68	0.72	0.57	0.60	0.91	0.47	0.66
CaO	1.97	2.03	1.99	2.30	1.58	2.21	1.92	0.14	1.77
Na ₂ O	2.64	2.04	1.22	2.29	1.34	2.99	0.44	0.29	1.66
K ₂ O	5.75	6.05	6.67	5.36	6.34	5.52	7.29	7.48	6.31
P ₂ O ₅	0.08	0.08	0.09	0.09	0.08	0.08	0.09	0.07	0.08
CO ₂	0.80	2.15	1.98	2.15	1.42	1.25	2.85	0.77	1.50
H ₂ O ⁺	0.88	1.07	1.09	1.04	1.03	0.85	1.96	1.53	1.07
烧失量	1.73	2.69	2.80	2.54	2.33	2.17	3.11	2.70	2.51
合计	99.67	99.72	99.76	99.55	99.64	99.65	99.08	99.32	99.55
ALK	8.39	8.09	7.89	7.65	7.68	8.51	7.73	7.77	7.96
A/CNK	0.98	0.97	0.99	0.97	1.02	0.96	1.18	1.29	1.03
A/NK	1.31	1.33	1.37	1.38	1.34	1.31	1.67	1.33	1.38
σ43	2.51	2.29	2.15	2.07	1.93	2.65	2.35	1.99	2.23
SI	6.18	6.23	6.87	7.33	5.84	5.77	8.04	4.05	6.27
A/MF	3.49	3.93	3.59	3.52	3.59	4.26	2.40	1.98	3.18
C/MF	0.90	1.10	1.02	1.11	0.85	1.20	0.59	0.04	0.78
分异指数(DI)	87.55	86.74	86.93	86.33	89.43	88.13	83.23	89.52	87.85

样品 15006-2 数据据欧阳成甫等(1991)。

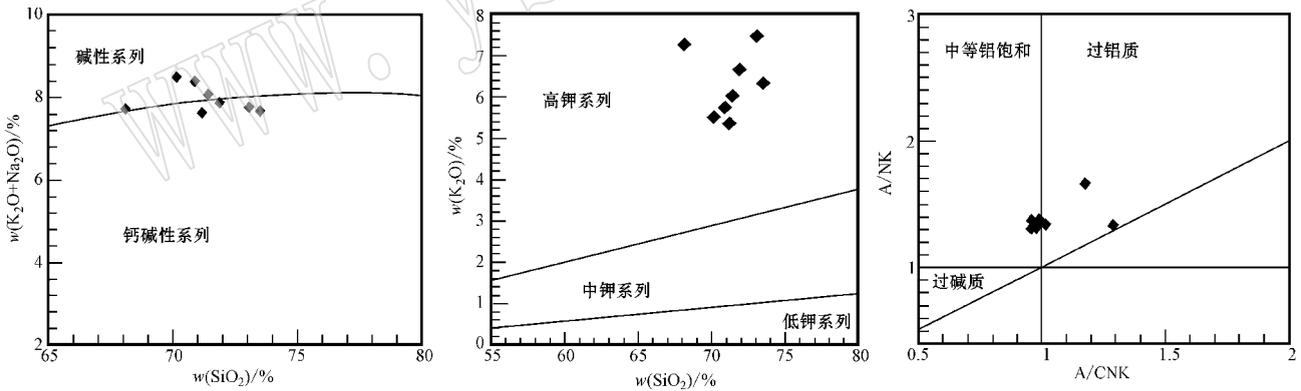


图 3 老厂花岗斑岩 (K₂O+Na₂O)-SiO₂ (据 Le Bas, 1986) 及 K₂O-SiO₂ (据 Peccerillo and Taylor, 1976)

和 A/NK-A/CNK (据 Maniar and Piccoli, 1989) 图解

Fig. 3 Diagrams showing (K₂O+Na₂O) versus SiO₂ (after Le Bas, 1986), K₂O versus SiO₂ (after Peccerillo and Taylor, 1976), and A/NK versus A/CNK (after Maniar and Piccoli, 1989) of granite-porphyry in Laochang

3.67, 平均 3.51, 略低于地壳平均值 3.8 (Taylor and Mclennan, 1985), Rb/Sr = 0.13 ~ 0.55, 平均 0.27, 远远大于地幔平均值 (约 0.025), 表明花岗岩浆经历了强烈的分异演化过程。

稀土元素总量变化较小, 在 $113.37 \times 10^{-6} \sim 137.00 \times 10^{-6}$ 之间, 平均 306×10^{-6} , 略高于世界花岗岩花岗岩平均值 (288×10^{-6})。球粒陨石标准化图

解为平滑的右倾曲线 (图 5), δEu (0.79 ~ 0.99), 显示弱或无负异常。LREE 含量 $97.89 \times 10^{-6} \sim 117.9 \times 10^{-6}$, 平均 109.01×10^{-6} , HREE 含量 $14.88 \times 10^{-6} \sim 21.97 \times 10^{-6}$ 之间, 平均 17.546×10^{-6} 。LREE/HREE = 4.91 ~ 7.85, 平均 6.33。 (La/Yb)_N = 12.01 ~ 24.85, 轻稀土元素中等富集。轻稀土元素分异明显 (La/Sm)_N = 4.11 ~ 5.06, 平均 4.59; 重

稀土元素分异相对不明显, $(Gd/Lu)_N = 1.44 \sim 2.36$, 平均 1.84。

由表 2 可见, 岩石中的成矿微量元素 Mo、W、Cu、Pb、Zn 等成矿元素不同程度富集, 尤其是 Mo、W

的含量不但远高于世界花岗岩平均值, 还显著高于扬子地台西缘含矿富碱斑岩, 其最高值分别达 45.2×10^{-6} 和 875×10^{-6} , 说明岩体总体具良好的含矿性。其他元素组合也总体与含矿富碱斑岩特征相似。

表 2 老厂花岗斑岩微量元素与稀土元素测试分析数据

$w_B/10^{-6}$

Table 2 Trace elements and REE compositions of granite-porphyry in Laochang

样号	E-51	E-67	E-73	E-76	E-82	E-84	中国花岗岩平均值	扬子地台西缘含矿富碱斑岩
Cu	19.8	53.9	43.7	37.4	43.2	15	5.00	100
Pb	282	86.9	94.9	361	55.1	182	26.00	100
Zn	46.6	86.8	242	91.5	110	126	43.00	120
Cr	16.4	10.3	13.2	12.3	8.68	10.7	5.00	8
Ni	10.1	6.71	6.89	7.01	4.98	6.16	0.50	11.5
Co	3.38	2.17	2.31	2.33	2.76	2.22	4.40	9.5
Rb	88	96.6	123	97	127	82.6	160.00	
Cs	7.96	5.45	6.04	5.92	5.54	4.75	3.80	
W	2.42	22.1	45.2	15.5	42.8	5.51	0.70	15
Mo	9.36	179	181	875	62.9	13.5	0.49	10
Bi	0.23	1.55	3.86	2.19	2.06	0.11	0.14	
Sr	526	435	333	636	410	631	170.00	
Ba	758	1000	873	1100	866	1290	560.00	
V	26.2	23.8	26.3	25.9	17.2	19.8	22.00	
Nb	7.3	6.58	6.99	4.55	5.74	6.04	14.00	10
Ta	0.9	0.62	0.86	0.4	0.58	0.61	1.30	1.2
Zr	108	109	109	106	112	109	150.00	
Hf	3.74	3.39	3.43	3.11	3.48	3.39	5.00	
Be	2.34	2.69	2.57	3.1	2.5	2.21	2.70	
Sn	1.5	2.5	2.8	11.5	4.5	4	2.00	
U	4.68	3	3.66	2.09	3.44	3.05	2.90	
Th	13.5	11	11.3	10.7	10.2	10.2	17.00	
La	26.3	27.6	28	29.3	24.4	25.5	63.00	
Ce	49.0	49.2	54.2	53.8	44.8	49.2	7.00	
Pr	6.12	5.97	6.7	6.57	5.52	6.14	25.00	
Nd	21.6	20.4	23.2	22.6	19.1	21.6	4.60	
Sm	4.00	3.41	3.93	3.66	3.24	3.78	0.82	
Eu	0.86	0.92	0.87	0.91	0.8	0.88	4.60	
Gd	3.06	2.58	3.01	2.67	2.5	2.82	0.64	
Tb	0.46	0.34	0.42	0.35	0.34	0.38	4.00	
Dy	2.51	1.81	2.28	1.73	1.76	1.95	0.80	
Ho	0.46	0.31	0.41	0.3	0.31	0.35	2.25	
Er	1.22	0.82	1.1	0.75	0.81	0.93	0.38	
Tm	0.2	0.13	0.18	0.12	0.14	0.15	2.10	
Yb	1.3	0.82	1.15	0.7	0.86	0.9	0.33	
Lu	0.16	0.11	0.15	0.088	0.11	0.12	20.00	
Y	12.6	8.62	11.4	8.17	8.68	9.68	168.52	
REE	129.85	123.04	137	131.72	113.37	124.38	133.42	
LREE	107.88	107.5	116.9	116.84	97.86	107.1	35.10	
HREE	21.97	15.54	20.1	14.878	15.51	17.28	3.97	
LREE/HREE	4.9103	6.9176	5.8159	7.8532	6.3095	6.1979	5.00	

注: 扬子地台西缘资料据有色总公司西南地质勘查局地质研究所等(1995)^①, 世界花岗岩平均值资料据史长义等(2008)。

① 有色总公司西南地质勘查局地质研究所等. 1995. 扬子地台西缘富碱斑岩铜多金属矿床成矿条件及找矿前景. 85-901-04-05 研究报告.

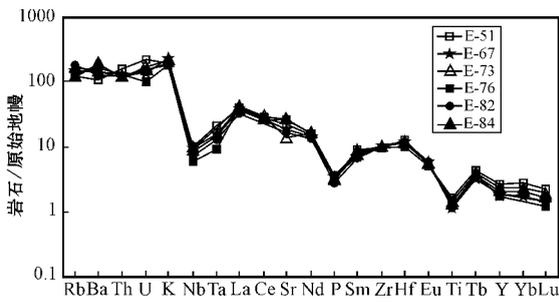


图 4 老厂花岗斑岩微量元素蛛网图

(原始地幔标准据 McDonough and Sun, 1985)

Fig. 4 Trace element spider diagram of granite porphyry in Laochang (primitive mantle data from McDonough and Sun, 1985)

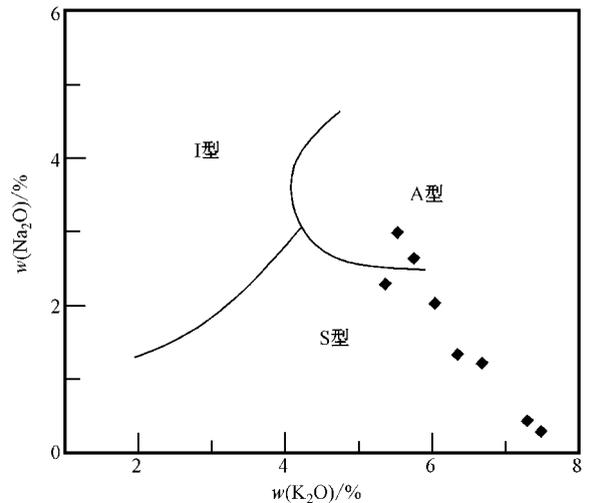


图 6 老厂花岗斑岩 Na₂O-K₂O 据 Collin, 1982)

Fig. 6 K₂O versus Na₂O diagram of genetic types of granite porphyry in Laochang (after Collin, 1982)

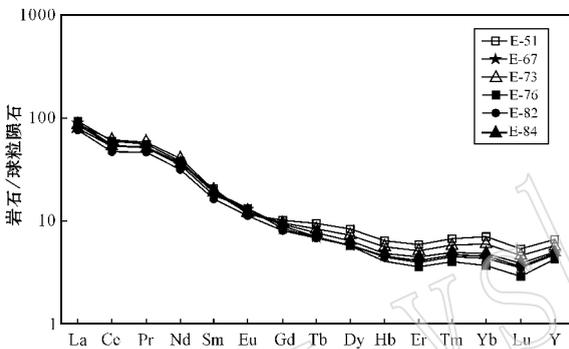


图 5 老厂花岗斑岩稀土元素球粒陨石标准化配分图 (球粒陨石标准据 Taylor and McLennan, 1985)

Fig. 5 Chondrite-normalized REE patterns of granite porphyry in Laochang (chondrite data from Taylor and McLennan, 1985)

3 老厂隐伏花岗斑岩的成因类型及来源

老厂花岗斑岩 Na₂O 含量在 0.44% ~ 2.99% 之间, 平均 1.66%, K/(K + Na) 比值较高, 在 0.648 ~ 0.845 之间, 为 S 型花岗岩特征, 在 Na₂O-K₂O 图解 (图 6) 中 6 个点落在 S 型区域, 有 2 个点落在 A 型花岗岩范围内。

可通过 Barbarin (1999) 花岗岩分类方法对老厂花岗斑岩进行分析。老厂花岗斑岩 Al₂O₃ 含量平均为 13.14%, 含量中等; CaO 平均含量 1.77%, 含量中等; Na₂O 平均含量 1.66%, 含量中等; K₂O 平均含量 6.31%, 含量较高。欧阳成甫等 (1991) 得到的 ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr 测量值为 0.708 35 ~ 0.715 44, 这些均显示混合源 KCG (高钾钙碱性花岗岩类) 特征; 但 FeO^T/(FeO^T + MgO) < 0.8, 又显示壳源 CPG (含堇青石过铝质花岗岩类) 特征, 总体具有以壳源为主的壳幔混合源特征。

花岗岩的 Ca/Na 比值可以反映岩浆源岩的信息。一般来说, 由富粘土的泥质岩熔融形成的花岗岩 Ca/Na 一般小于 0.3, 由砂屑、杂砂岩或者变质岩熔融生成的花岗岩 Ca/Na 一般大于 0.3 (Altherr *et al.*, 2000)。老厂花岗斑岩 Ca/Na 在 0.48 ~ 4.36 之间, 平均 1.39, 远大于 0.3, 在 A/FM-C/FM 图解和 Rb/Ba-Rb/Sr 图解 (图 7) 中均投入杂砂岩及杂砂岩向基性岩过渡区域, 说明本区花岗斑岩来源较深, 有部分幔源物质参与。

在锆石标型特征研究中, 通过对老厂矿区 ZK153101 中花岗斑岩脉样品的分析, 将锆石标型群的平均温度指数和平均碱度指数投在不同成因类型花岗岩的锆石群演化势图上, 样品均落在壳幔混合型成因的花岗岩区或钙碱性系列花岗岩区, 但更靠近壳源花岗岩一侧, 指示矿区花岗斑岩是以壳源为主的壳幔源混合成因花岗斑岩 (陈琿等, 2010b)。

根据花岗斑岩的地球化学特征、锆石标型特征等进行综合判断, 老厂隐伏花岗斑岩应是以壳源重熔为主、有部分幔源物质参与的混合成因花岗斑岩。

4 构造环境的判别

本区花岗斑岩为富钾钙碱性系列岩体。Barbarin (1999) 认为富钾钙碱性花岗岩 (KCG) 主要为构造体制转换而不是一种特定的地球动力学环境产物, 它可能形成于构造事件松弛时期, 或者形成于挤

压环境向拉伸环境的转变时期。KCG 大量存在于与大陆碰撞有关的造山环境中。Roberts 和 Clemens (1993) 认为,高钾钙碱性岩石主要形成于同碰撞之后岩石圈加厚的伸展垮塌向非造山的过渡阶段,它们的岩浆源区与早前的俯冲作用关系密切。

花岗岩的类型及其地球化学特点取决于岩浆源区及岩石的形成过程,而岩浆源区及形成过程又与其构造环境关系密切。Pearce 等(1984)在资料搜集与统计的基础上,构建起微量元素地球化学判别图解,将岩浆源区与形成的构造环境联系起来。老厂花岗斑岩的 6 个样品投影点在微量元素 Nb-Y 判别

图解(图 8b)中落在同碰撞+岛弧花岗岩区,在 Rb-(Y+Nb)和 Ta-Yb 图解中(图 8a、8c)均落入岛弧花岗岩区域靠近同碰撞花岗岩一侧。值得说明的是, Pearce 所建立的图解是将岩浆源区与构造环境联系起来,很多情况下投点位置反映的是源区而不是构造环境。对于碰撞型花岗岩,当没有减压作用或流体参与的熔融作用发生时,产生的熔体成分就会跟火山弧环境区域中的平均陆壳成分相近,这时显示的是源区的成分而非构造环境(赵振华,2007)。因此,对构造环境的判别主要应从区域和时间演化上来考虑。

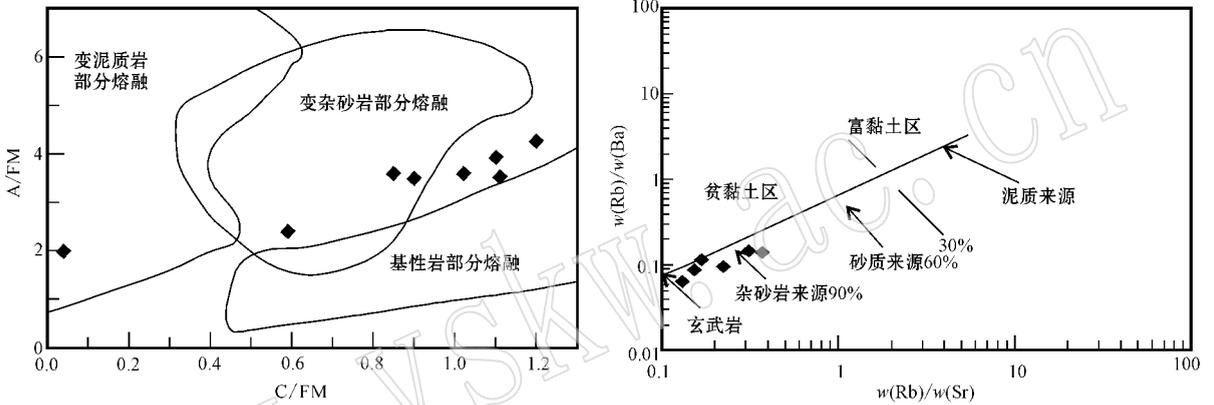


图 7 老厂花岗斑岩 A/FM-C/FM(据 Altherr 等,2000)及 Rb/Ba-Rb/Sr 图解(据 Sylvester,1998)

Fig. 7 Discrimination diagrams showing A/MF versus C/FM (after Altherr *et al.*, 2000) and Rb/Ba versus Rb/Sr (after Sylvester, 1998) of granite porphyry in Laochang

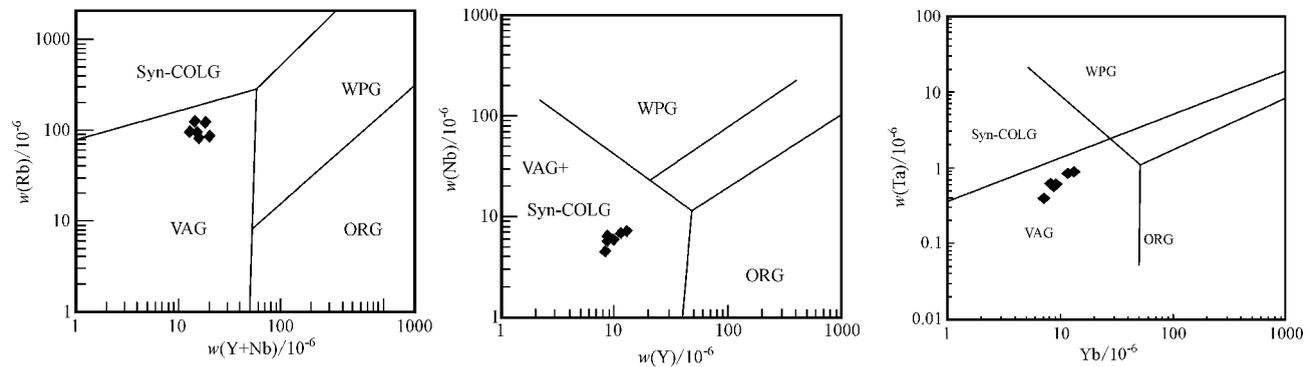


图 8 老厂花岗斑岩 Rb-(Y+Nb)、Nb-Y 和 Ta-Yb 构造环境判别图解(据 Pearce 等,1984)

Fig. 8 Diagrams showing Rb versus (Y+Nb), Nb versus Y, and Ta versus Yb for discriminating tectonic setting of granite porphyry in Laochang (after Pearce *et al.*, 1984)

ORG—洋脊花岗岩; WPG—板内花岗岩; VAG—火山弧花岗岩; Syn-COLG—同碰撞花岗岩

ORG—ocean ridge granite; WPG—intraplate granite; VAG—volcanic arc granite; Syn-COLG—Syn-collision granite

澜沧老厂位于青藏高原的东南缘,SHRIMP 锆石 U-Pb 同位素年龄研究表明该区花岗斑岩形成时

代为始新始(44.6 ± 1.1 Ma)(陈琿等,2010a),说明该区花岗斑岩形成于喜马拉雅期青藏高原碰撞造山

作用过程中。在花岗岩分类的 Sr - Yb 图解中(图 9),老厂花岗斑岩落入 I 区高 Sr 低 Yb 型花岗岩($Sr > 400 \times 10^{-6}$, $Yb < 2 \times 10^{-6}$)和 II 区低 Sr 低 Yb 型花岗岩($Sr < 400 \times 10^{-6}$, $Yb < 2 \times 10^{-6}$)中,而这两种花岗岩区一般形成于碰撞环境(张旗等,2006)。老

厂花岗斑岩 R_1 为 2 303~3 008, R_2 为 269~547,在 $R_2 - R_1$ 构造环境判别图解中基本落入同碰撞花岗岩范围内(图 9)。这两种图解的判别与该区始新世的构造环境一致。

青藏高原新生代碰撞造山作用强烈,大致可以

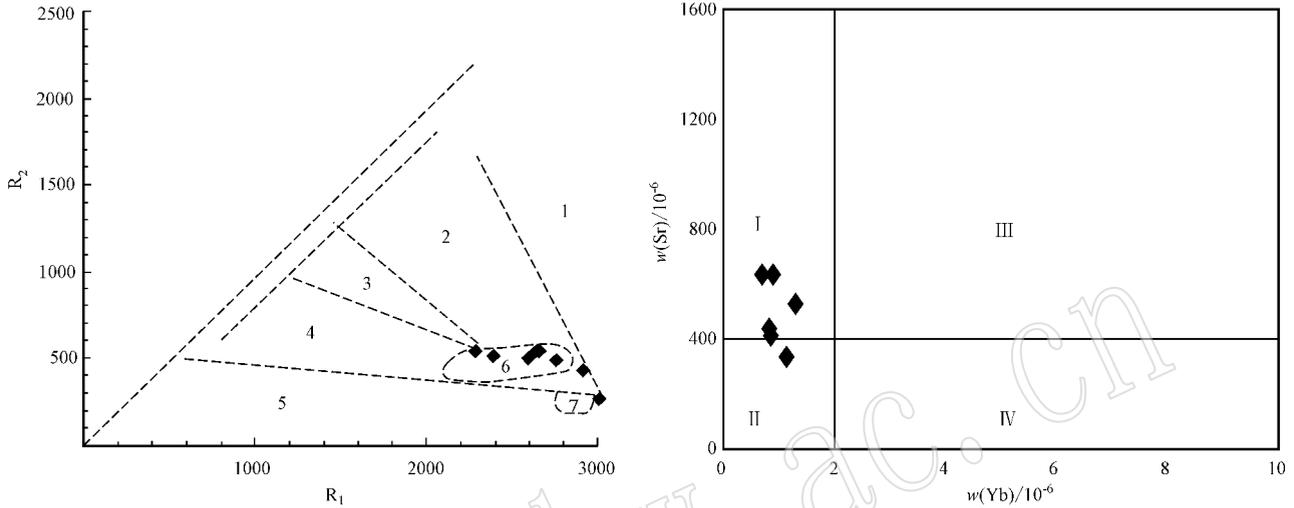


图 9 老厂花岗斑岩 $R_2 - R_1$ (据 Batchelor and Bowden, 1985) Sr - Yb 图解(据张旗等,2006)

Fig. 9 Diagrams showing R_2 versus R_1 (after Batchelor and Bowden, 1985) and Sr versus Yb(after Zhang Qi *et al.* , 2006) of granite porphyry in Laochang

- 1—地幔分异斜长花岗岩; 2—板块碰撞前花岗岩; 3—板块碰撞后隆起花岗岩; 4—晚造山期花岗岩; 5—非早中期 A 型花岗岩;
6—同碰撞(S 型花岗岩); 7—造山期后 A 型花岗岩; I—高 Sr 低 Yb 型; II—低 Sr 低 Yb 型; III—高 Sr 高 Yb 型;
IV—低 Sr 高 Yb 型-非常低 Sr 高 Yb 型

1—plagiogranite of mantle; 2—granite of pre-plate collision; 3—granite of post-collision uplift; 4—granite of late-orogenic stage; 5—A-type granite of anorogenic stage; 6—S-type granite of syn-collision stage; 7—A-type granite of post-orogenic stage; I—high Sr and low Yb type; II—Low Sr and low Yb type; III—high Sr and high Yb type; IV—Low Sr and high Yb type as well as very low Sr and high Yb type

分为主碰撞(65~41 Ma)、晚碰撞(40~26 Ma)和后碰撞(25~0 Ma)3 大阶段(侯增谦,2006a,2006b)。澜沧地区新生代陆内碰撞造山强烈,经历强烈挤压逆冲-推覆为主→大规模走滑断裂活动→伸展造山崩塌等构造环境的转换,与青藏高原构造演化过程总体相似。老厂花岗斑岩在时间上出现在主碰撞向晚碰撞转化时期,在空间上产于澜沧江断裂西侧的晚古生代裂谷带中,区域动力学环境属碰撞造山环境型。根据综合地学研究分析澜沧老厂斑岩成岩作用过程表明,岩浆重熔发生于新生代陆内碰撞造山的主碰撞阶段,岩浆侵位结晶和斑岩成矿发生于主碰撞末期,与“三江”地区新生代斑岩型矿床成矿高峰吻合。从区域成矿动力学环境看,成岩作用发生在东西向强烈挤压碰撞向 NE、NW 大规模走滑转化阶段,是典型的大陆碰撞造山带型花岗斑岩。

5 讨论与结论

(1)老厂隐伏花岗斑岩化学成分中,酸性与中国花岗岩的平均值基本相当(SiO_2 为 68.09%~73.48%),富碱($Na_2O + K_2O$ 为 7.73%~8.51%),富铕(K_2O / Na_2O 为 1.85~25.8),中等铝饱(铝饱和指数 A/CNK 在 0.958~1.289 之间,平均 1.03<1.1),固结指数 $SI = 4.05 \sim 8.04$ 表明岩浆酸性程度高,总体属酸性偏铝质高钾钙碱性系列岩浆岩。岩石稀土元素总量为 $113.37 \times 10^{-6} \sim 137.00 \times 10^{-6}$,轻稀土元素中等富集,重稀土元素亏损, K 、 La 、 Hf 、 Tb 相对富集, Nb 、 Ta 、 P 、 Ti 相对亏损, $(La/Yb)_N = 12.01 \sim 24.85$, $\delta Eu = 0.79 \sim 0.99$, Eu 为弱负异常,稀土元素分布曲线为平滑的右倾曲线,反映了造山

带花岗岩特征。

(2) 根据花岗斑岩的岩石化学、稀土元素、微量元素地球化学和锆石标型特征等综合因素,判断老厂隐伏花岗斑岩体是以壳源为主的壳幔源混合成因花岗斑岩,形成于青藏高原新生代碰撞造山主碰撞阶段区域挤压机理下的主碰撞构造环境。

(3) 该区新生代陆内碰撞型隐伏花岗斑岩成岩作用的区域动力学过程可概括为:微板块碰撞和陆块对接,激发深部地幔局部熔融,使熔融体沿穿透性构造发育的早期裂谷带轴部上涌,成为构造-岩浆-热事件的主要驱动力,地幔物质涌入,向下地壳注入新生物质,诱发下地壳物质熔融,形成壳幔混合源富钾含矿岩浆。岩浆沿大型斜向走滑断裂系与早期 SN 向穿透性断层系统结合部位上升,最终侵位于裂谷期火山中。

References

- Altherr R, Holl A, Hegner E, et al. 2000. High-potassium, calc-alkaline I-type plutonism in the European Variscides: northern Vosges (France) and northern Schwarzwald (Germany) [J]. *Lithos*, 50: 51-73.
- Batchelor RA and Bowden P. 1985. Petrogenetic interpretation of granitoid rock series using multicaticonic parameters [J]. *Chem. Geol.*, 48(1): 43-55.
- Barbarin B A. 1999. Review of the relationships between granitoid types, their origins and their geodynamic environments [J]. *Lithos*, 46: 605-626.
- Chen Hui, Li Feng, Jian Runtang, et al. 2010a. Zircon SHRIMP dating of the Laochang granite porphyry in Lancang, Yunnan and its geological significance [J]. *Acta Geologica Sinica*, 84(4): 485-491 (in Chinese with English abstract).
- Chen Hui, Li Feng, Jian Runtang, et al. 2010b. Typomorphic characteristics and geological significance of the zircon from the Laochang granite porphyry in Lancang, Yunnan Province [J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 29(1): 41-49 (in Chinese with English abstract).
- Collin W J. 1982. Nature and origin of A-type granites with particular reference to Southeastern Australia [J]. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 80: 189-200.
- Hou Zengqian, Pan Guitang, Wang Anjian, et al. 2006b. Metallogenesis in Tibetan collisional orogenic belt: II. Mineralization in late-collisional transformation setting [J]. *Mineral Deposits*, 25(5): 521-543 (in Chinese with English abstract).
- Hou Zengqian, Yang Zhusen, Xu Wenyi, et al. 2006a. Metallogenesis in Tibetan collisional orogenic belt: I. Mineralization in main collisional orogenic setting [J]. *Mineral Deposits*, 25(4): 337-358 (in Chinese with English abstract).
- Le Bas M J, Le Maitre R W, Streckeisen A, et al. 1986. A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali-silica diagram [J]. *Journal of Petrology*, 27: 745-750.
- Li Feng, Lu Wenju, Yang Yingzhong, et al. 2009a. Mineralizing texture and metallogenic model of the Laochang polymetallic deposit in Lancang, Yunnan [J]. *Geology and Prospecting*, 45(5): 516-523 (in Chinese).
- Li Feng, Lu Wenju, Yang Yingzhong, et al. 2009b. Porphyry molybdenum deposit rock- and ore-forming ages SHRIMP zircon U-Pb dating molybdenite Re-Os dating method Laochang in Lancang Yunnan [J]. *Geoscience*, 23(6): 1049-1055 (in Chinese).
- Maniar P D and Piccolli P M. 1989. Tectonic discrimination of granitoid [J]. *GeoI. Soc. Am. Bull.*, 101: 635-643.
- McDonough W F and Sun S S. 1985. Isotopic and geochemical systematics in Tertiary-Recent basalts from southeastern Australia and implication for the subcontinental lithospheres [J]. *Geochim Cosmochim Acta*, 49: 2051-2067.
- Ouyang Chengpu and Xu Chuming. 1991. Geochemical features and genesis of the Laochang Diwa-type silver-lead ore deposit in Lancang, Yunnan, China [J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 15(4): 317-326 (in Chinese).
- Ouyang Chengpu, Xu Chuming, Hu Chengqi, et al. 1993. Predicted existence of a concealed granitic body in the Laochang silver-lead deposit and the geologic significance [J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 17(2): 119-126 (in Chinese).
- Pearce T A, Harris N B W and Tindle A G. 1984. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks [J]. *Petrology*, 25: 956-983.
- Peceerillo R and Taylor S R. 1976. Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, northern Turkey [J]. *Contrib. Mineral. PetroI.*, 58: 63-81.
- Roberts M P and Clemens J D. 1993. Origin of high-potassium calc-alkaline I-type granitoid [J]. *Geology*, 21: 825-828.
- Shi Changyi, Yan Mingcai and Chi Qinghua. 2008. On Abundance and Distribution of the Chemical Elements in Granitoid of China [M]. Beijing: Geological Publishing House, 75-106 (in Chinese).
- Sylvester P J. 1998. Post-collisional strongly peraluminous granites [J]. *Lithos*, 45: 29-44.
- Taylor S R and McLennan S M. 1985. *The Continental Crust: Its Composition and Evolution* [M]. London: Blackwell Scientific Publications, 312.
- Wang Denghong, Ying Hanlong, Liang Huaying, et al. 2006. Cenozoic Continental Geodynamics and Large Scale Mineralization in the Sanjiang (Nujiang, Lancangjiang and Jinshajiang) Region, China [M]. Beijing: Geological Publishing House, 166-173 (in Chinese).
- Wang Yizhao, Li Xinglin, Duan Lilan, et al. 2000. Geotectonics and Metallogeny in the South Nujiang-Lancang-Jinsha Rivers Area [M]. Beijing: Geological Publishing House, 86-109 (in Chinese).

Xu Chuming and Ouyang Chenpu. 1991. A Study on the genesis of the Ag-Pb-Zn deposit in Laochang, Lancang, Yunnan [J]. Journal of Guilin University of Technology, 11(3): 245~252 (in Chinese).

Ye Qingtong, Hu Yunzhong, Yang Qing, *et al.* 1992. Regional Geochemical Background and Gold, Silver and Lead-Zinc Mineralization in the Nujiang-Lancangjiang-Jinshajiang Area [M]. Beijing: Geological Publishing House, 166~172 (in Chinese).

Zhang Qi, Wang Yan, Li Chendong, *et al.* 2006. Granite classification on the basis of Sr and Yb contents and its implications [J]. Acta Petrologica Sinica, 22(9): 2249~2269 (in Chinese).

Zhao Zhenhua. 2007. How to use the trace element diagrams to discriminate tectonic settings [J]. Geotectonica et Metallogenia, 31(1): 92~103 (in Chinese).

附中文参考文献

陈 琿, 李 峰, 坚润堂, 等. 2010a. 云南澜沧老厂斑岩锆石 SHRIMP 定年及其地质意义 [J]. 地质学报, 84(4): 485~491.

陈 琿, 李 峰, 坚润堂, 等. 2010b. 云南澜沧老厂花岗斑岩中锆石标型特征及地质意义 [J]. 岩石矿物学杂志, 29(1): 41~49.

侯增谦, 潘桂棠, 王安建, 等. 2006b. 青藏高原碰撞造山带: II. 晚碰撞造山成矿作用 [J]. 矿床地质, 25(5): 521~543.

侯增谦, 杨竹森, 徐文艺, 等. 2006a. 青藏高原碰撞造山带: I. 主碰

撞造山成矿作用 [J]. 矿床地质, 25(4): 337~358.

李 峰, 鲁文举, 杨映忠, 等. 2009a. 云南澜沧老厂多金属矿床矿化结构及成矿模式 [J]. 地质与勘探, 45(5): 516~523.

李 峰, 鲁文举, 杨映忠, 等. 2009b. 云南澜沧老厂斑岩钼矿成矿时代研究 [J]. 现代地质, 23(6): 1049~1055.

欧阳成甫, 徐楚明. 1991. 云南澜沧老厂地洼型银铅矿床的地球化学特征及成因 [J]. 大地构造与成矿学, 15(4): 317~326.

欧阳成甫, 徐楚明, 胡承绮, 等. 1993. 云南澜沧老厂银铅矿区隐伏花岗岩体预测及其意义 [J]. 大地构造与成矿学, 17(2): 119~126.

史长义, 鄯明才, 迟清华. 2008. 中国花岗岩类化学元素丰度 [M]. 北京: 地质出版社, 75~106.

王登红, 应汉龙, 梁华英, 等. 2006. 西南三江地区新生代大陆动力学过程与大规模成矿 [M]. 北京: 地质出版社, 166~172.

王义昭, 李兴林, 段丽兰, 等. 2000. 三江地区南段大地构造与成矿 [M]. 北京: 地质出版社, 86~109.

徐楚明, 欧阳成甫. 1991. 云南澜沧老厂银铅矿床成因研究 [J]. 桂林冶金地质学院学报, 11(3): 245~252.

叶庆同, 胡云中, 杨 清, 等. 1992. 三江地区区域地球化学背景和金银铅锌成矿作用 [M]. 北京: 地质出版社, 191~215.

张 旗, 王 焰, 李承东, 等. 2006. 花岗岩的 Sr-Yb 分类及其地质意义 [J]. 岩石学报, 22(9): 2249~2269.

赵振华. 2007. 关于岩石微量元素构造环境判别图解使用的有关问题 [J]. 大地构造与成矿学, 31(1): 92~103.

更 正

我刊发表于 2009 年第 28 卷第 5 期 495~500 页、署名为沈其韩的综合资料《推荐一个系统的矿物缩写表》中表 3 第 27 个矿物楣石的英文名称拼写错误, 应将“Sphere”改为“Sphene”, 现特此更正, 并对由此给读者带来的不便表示歉意。