

云南马厂箐富碱斑岩埃达克岩性质的厘定及其成矿意义

郭晓东^{1,2}, 侯增谦³, 陈祥², 王治华²

(1. 中国地质大学, 北京 100083; 2. 武警黄金地质研究所, 河北廊坊 065000; 3. 中国地质科学院地质研究所, 北京 100037)

摘要: 马厂箐复式岩体 SiO_2 含量变化于 61.56% ~ 71.63%, 平均 67.30% ($\geq 56\%$); Al_2O_3 含量变化于 13.38% ~ 17.18%, 平均 15.44% ($\geq 15\%$); K_2O 含量变化于 3.36% ~ 8.92%, 平均 5.35%; $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$ 变化于 7.75% ~ 11.55%, 平均 9.08%; $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 变化于 0.65 ~ 4.00, 平均 1.49, 明显具有高钾钙碱性或钾玄岩系列特征; MgO 含量变化于 0.40% ~ 4.59%, 平均 1.11%, 在 $R_1 - R_2$ 图解中处于造山晚期和同碰撞期岩浆岩的范围内。地球化学特征显示高场强元素 HFSE (Nb, Ta, Ti) 相对亏损, Sr 含量高 ($337 \times 10^{-6} \sim 718 \times 10^{-6}$), Y 主要集中在 $6.2 \times 10^{-6} \sim 15.8 \times 10^{-6}$ 之间 ($\leq 18 \times 10^{-6}$), Yb 含量变化于 $0.20 \times 10^{-6} \sim 1.63 \times 10^{-6}$ 之间 ($\leq 1.9 \times 10^{-6}$)。轻重稀土元素强烈分异, 且具有明显的轻稀土元素富集的特点, LREE/HREE 变化于 8.02 ~ 24.01, Sr/Y 变化于 40.5 ~ 57.4 之间, 平均 48.2 (> 40), La/Yb 变化于 17.5 ~ 105.8 之间, 平均 43.4 (> 20), Sc 含量变化于 $2.5 \times 10^{-6} \sim 7.9 \times 10^{-6}$ 之间 ($< 10 \times 10^{-6}$), δEu 变化于 0.81 ~ 1.38 之间, 显示出埃达克岩的地球化学特征。马厂箐岩体属于 C 型埃达克岩中的钾质埃达克岩。马厂箐岩体埃达克岩性质的厘定及其与同一成矿带上的玉龙斑岩体具有相似地球化学特征和形成环境的认识, 对于该区地质找矿具有一定的意义。

关键词: 富碱斑岩, 埃达克岩, 马厂箐岩体, 成矿意义, 云南省

中图分类号: P588.12; P618.4

文献标识码: A

文章编号: 1000-6524(2009)04-0375-12

Identification of adakitic characteristics of Machangjing alkali-rich porphyry in Yunnan Province and its significance to mineralization research

GUO Xiao-dong^{1,2}, HOU Zeng-qian³, CHEN Xiang² and WANG Zhi-hua²

(1. China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 2. Gold Geological Institute of CAPF, Langfang 065000, China; 3. Institute of Geology, CAGS, Beijing 100037, China)

Abstract: The composition of Machangjing alkali-rich porphyry was analyzed and the data obtained are reported in this paper. The results show that the porphyry has characteristics of potassium-high calc-alkali series or shoshonite series, with SiO_2 being 61.56% ~ 71.63%, averaging 67.30% ($\geq 56\%$); Al_2O_3 13.38% ~ 17.18%, averaging 15.44% ($\geq 15\%$); K_2O 3.36% ~ 8.92%, averaging 5.35%; $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$ 7.75% ~ 11.55%, averaging 9.08%; $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 0.65 ~ 4.00, averaging 1.49; and MgO 0.40% ~ 4.59%, averaging 1.11%. The $R_1 - R_2$ diagram suggests that the porphyritic magma was formed during the late orogeny and the syn-collision. Geochemically, the porphyry is relatively depleted in such HFSE as Nb, Ta, Ti and rich in Sr ($337 \times 10^{-6} \sim 718 \times 10^{-6}$), with Y being $6.2 \times 10^{-6} \sim 15.8 \times 10^{-6}$ ($\leq 18 \times 10^{-6}$) and Yb being $0.20 \times 10^{-6} \sim 1.63 \times 10^{-6}$.

收稿日期: 2009-01-07; 修订日期: 2009-05-30

基金项目: “十一五”国家攻关项目(2006BAB01B10), 武警黄金指挥部专项基金资助项目(HJ07-02)

作者简介: 郭晓东(1969-), 男, 在职博士研究生, 高级工程师, 主要从事黄金地质勘查和研究工作, 电话: 0316-5909515(O), E-mail:

Xdguo191@sohu.com

1.63×10^{-6} ($\leq 1.9 \times 10^{-6}$)。The REE have experienced strong differentiation and are thus markedly enriched in LREE. LREE/HREE ratios vary from 8.02 to 24.01, Sr/Y from 40.5 to 57.4, averaging 48.2 (> 40), La/Yb from 17.5 to 105.8, averaging 43.4 (> 20), Sc from 2.5×10^{-6} to 7.9×10^{-6} ($< 10 \times 10^{-6}$), and δEu from 0.81 to 1.38. All these data indicate that the alkali-rich porphyry is geochemically characterized by adakite and belongs to C-type potassic adakite. The Machangjing porphyry is a kind of adakite and geochemically and environmentally similar to the Yulong porphyry within the same ore-forming belt, which is somewhat of significance to geological prospecting.

Key words: alkali-rich porphyry; adakite; Machangjing porphyry; mineralization significance; Yunnan Province

自从涂光炽先生 1984 年提出金沙江-哀牢山富碱侵入岩带以来,基于世界范围内相继发现了一批与富碱特别是与钾质火成岩有关的大型、超大型 Au-Cu 矿床 (Mutschler, 1992; 赵振华等, 2003) 的原因,许多学者对该带开展了大量卓有成效的研究工作。尤其是近 20 年来,随着该带地质找矿的重大突破,陆续发现了玉龙铜钼金矿床、北衙金矿等多个大型-超大型矿床,该富碱侵入岩带更是引起中外地质学家的广泛关注。张玉泉等 (1987) 认为该富碱斑岩是在断裂处于拉张状态下侵入的,属于裂谷环境下的产物,与东非裂谷的碱性斑岩相似;一些学者认为该富碱侵入岩带属于总体挤压、局部引张构造环境的产物 (曾普胜等, 1999, 2002; 吕伯西等, 2000; 骆耀南等, 2001), 富碱侵入岩为中酸性至酸性岩,以酸性岩为主,不具有典型的裂谷特征。杨建民等 (2001) 认为该富碱侵入岩不是典型的碱性岩类,只是较为富碱的中酸性岩类。谢应雯等 (1984) 认为金沙江-哀牢山断裂带具有板块缝合带的性质,伴随着挤压-剪切形成的张性环境发育富碱斑岩体。可以看出,尽管不同学者的观点存在差异,但大都认为岩浆是在张性构造环境下侵入的。

马厂箐斑岩型铜钼矿床是该带上与富碱侵入岩有关的典型矿床之一,有关该矿床地质特征、流体包裹体特征、同位素地球化学特征、成岩成矿年代学以及矿床成因等开展了较多的研究工作 (赵淮, 1995; 杨建昆等, 1996; 胡瑞忠等, 1997; 张玉泉等, 1997; 毕献武等, 1999; 葛良胜等, 2002; 梁华英等, 2004; 刘显凡等, 2004; 王登红等, 2004; 何明勤等, 2004; 彭建堂等, 2005; 曾普胜等, 2006), 而对马厂箐岩体的研究相对较为薄弱,仅个别学者和单位如毕献武等 (1999, 2005, 2006), 梁华英等 (2004), 曾普胜等 (1999, 2002), 西南冶金地质勘探公司 310 队

(1981)^① 对其岩石学、地球化学进行了研究,进一步探讨了其岩石类型及其形成的构造环境。由于马厂箐富碱斑岩体与铜钼金成矿关系密切,不仅为成矿提供了物质来源,而且为成矿提供了流体和热动力条件。因此,对马厂箐岩体进行深入的地质地球化学研究,不仅能够揭示岩石本身形成的构造环境,更重要的是能够了解岩浆演化过程及其对成矿作用的控制,对于该区地质找矿具有指导意义。

1 岩体地质特征

马厂箐矿区位于云南省祥云、弥渡、大理三市县接壤部位,是滇西特提斯构造-成矿域上一个成矿系列较全、成矿元素复杂、成矿条件独特的斑岩型矿床,位于特提斯成矿域东部金沙江-哀牢山斑岩型铜钼成矿带上。在大地构造上处于扬子板块西缘与金沙江-哀牢山深大断裂构造带东侧交汇部位, NW 向金沙江-哀牢山断裂带与 NNE 向程海-宾川断裂带所夹锐角区 (毕献武等, 1999)。

马厂箐复式杂岩体是矿区主要岩体,属于滇西富碱斑岩带重要组成部分 (张玉泉等, 1987)。据西南冶金地质勘探公司 310 队 (1981)^① 资料,该岩体由大小 260 多个小岩体组成,出露面积约 1.36 km^2 ,具有多期次活动特征,由各种类型的斑岩组成,主要岩性包括正长斑岩、石英二长斑岩、花岗斑岩和斑状花岗岩,构成马厂箐小岩体群。其中,以大面积出露斑状花岗岩为主。各类斑岩主要以岩株、岩脉、岩墙或岩床等产状侵位于下奥陶统向阳组长石石英砂岩、粉砂岩、碳泥质细砂岩夹条带状灰岩、泥质白云岩透镜体以及下泥盆统康郎组灰岩地层中 (图 1)。斑岩体平面上呈不规则的椭圆状,剖面形态呈近于对称的蘑菇状、倒水滴状,呈现上大下小的形态,岩株或

① 西南冶金地质勘探公司 310 队, 1981. 云南省祥云县马厂箐矿区铜钼矿评价地质报告 (内部资料)。

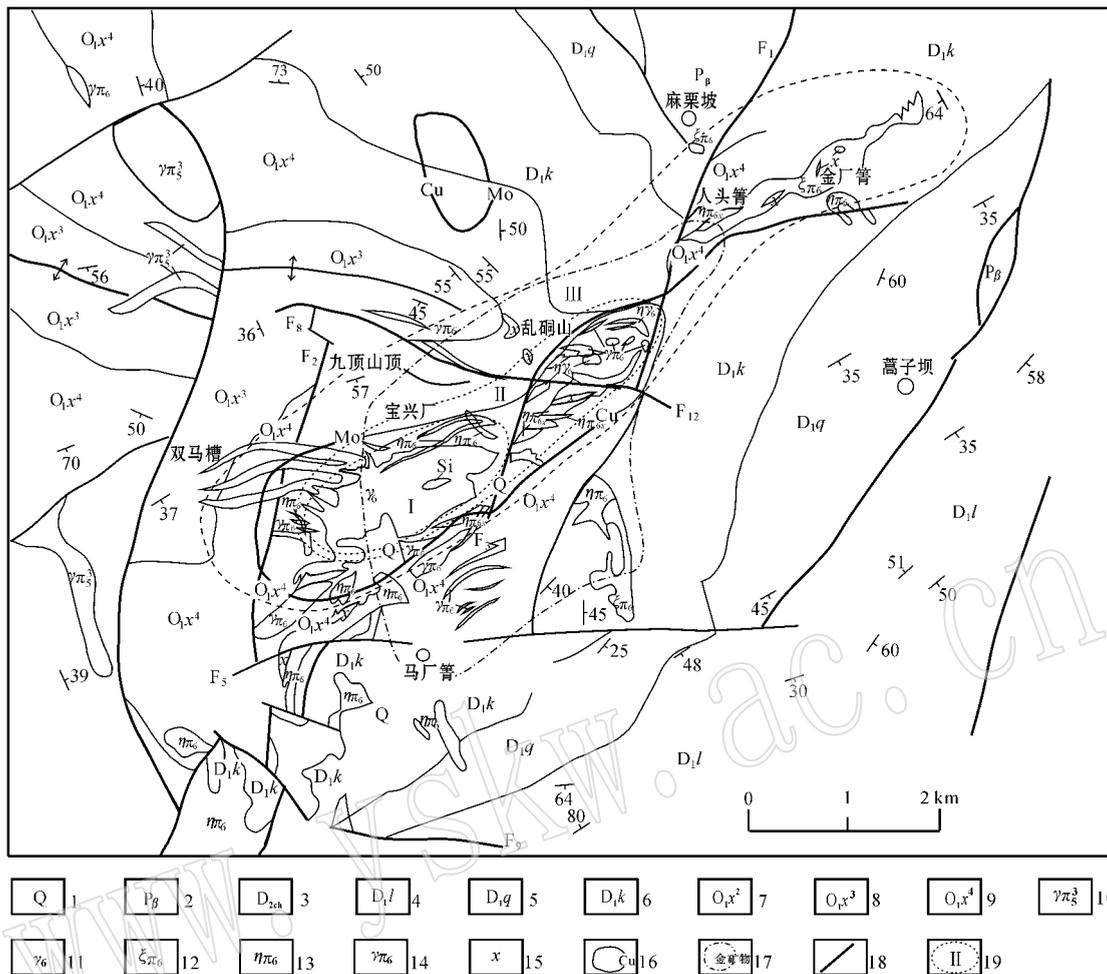


图 1 马厂箐矿区地质简图

Fig.1 Simplified geological map of the Machangjing ore district

1—第四系；2—二叠系玄武岩；3—硅质层夹页岩；4—莲花山组灰黑色泥灰岩、页岩夹同生角砾状灰岩；5—青山组灰岩；6—康郎组白云质灰岩白云岩；7—向阳组二段浅灰色石英砂岩、粉砂质页岩；8—黑色页岩夹粉砂岩，底部为灰白色石英砂岩；9—上部钙质细砂岩、灰紫色细砂岩，下部砂岩、砾岩；10—燕山期花岗斑岩；11—斑状角闪黑云花岗岩；12—正长斑岩；13—二长斑岩；14—喜山期花岗斑岩；15—煌斑岩；16—金属测量异常；17—重砂测量异常；18—断裂；19—矿化类型分带：I—Mo-W-Cu-Fe-Sn 矿化；II—Cu-Au-Mo-Fe 矿化；III—Au-Ag-PbZn-As-Sb 矿化

1—Quaternary；2—Permian basalt；3—silicalite intercalated with shale；4—grayish black marl intercalated with brecciform limestone of Lianhuashan Formation；5—limestone of Qingshan Formation；6—dolomite limestone and dolostone of Kanglang Formation；7—light grey quartzose sandstone and silty shale of 2nd Member of Xiangyang Formation；8—black shale intercalated with silt, the lower part being grayish white quartzose sandstone；9—upper part: calcic fine-grained sandstone, grayish-purple fine-grained sandstone；lower part: sandstone and conglomerate；10—Yanshanian granite-porphry；11—porphyritic hornblende biotite granite；12—orthophyre；13—ivernite；14—Himalayan granite-porphry；15—lamprophyre；16—anomaly of metallometric survey；17—anomaly of heavy mineral survey；18—fault；19—mineralized belt: I—Mo-W-Cu-Fe-Sn mineralized zone；II—Cu-Au-Mo-Fe mineralized zone；III—Au-Ab-PbZn-As-Sb mineralized zone

岩枝)呈向内的陡倾状。马厂箐岩体具有被动侵位的特点,在岩体与围岩的接触带常见斑岩体和围岩犬牙交错,岩体侵位时穿切围岩的现象特别明显。岩体的侵位深度为 0.8~3.0 km,属浅成、超浅成侵位。在斑岩体附近围岩中,广泛发育褪色带和侵位角(砾)岩、碎裂岩,局部可见热液隐爆角砾岩。矿化

斑岩体剥蚀程度较小,岩体内仍存在大量的围岩捕虏体。梁华英等(2004)测得早期角闪正长岩锆石 U-Th-Pb 年龄为 (35.6 ± 0.3) Ma, MSWD=2.81,晚期花岗斑岩锆石 U-Th-Pb 年龄为 (35.0 ± 0.2) Ma, MSWD=2.92。与区域上的岩浆活动对比,正长(斑)岩、花岗斑岩的形成时代为 36 Ma 左右,属于滇

西新生代第 2 个岩浆活动热旋回产物(罗君烈等, 2001)。

对于组成马厂箐岩体的各种类型侵入岩,无论是正长斑岩、二长斑岩,还是斑状花岗岩、花岗斑岩,主要矿物为斜长石、石英、角闪石、黑云母以及由钾化作用形成的钾长石,副矿物有磷灰石、榍石、锆石、磁铁矿。斑晶主要为钾长石、斜长石、石英、角闪石和黑云母,基质主要由微细粒长石、石英和少量的黑云母组成。

岩体蚀变强烈,主要呈面形蚀变。岩体内部发育比较强烈的以硅化和钾化为主的蚀变,主要包括硅化、钾长石化、钠长石化、绢云母化、绿泥石化等,局部有黑云母化、高岭土化以及碳酸盐化和沸石化等蚀变。岩体蚀变具有较好的蚀变分带性,自中心向外(主要向北、北东方向)可划分出 3 个带:强硅化核(中心)→石英钾长石化带(中部)→石英绢云母化带(边部)绢云母化带较弱(西南冶金地质勘探公司 310 队,1981)^①。其中铜、钼矿体主要产于中部的石英钾长石化带和边部的石英绢云母化带中,而金矿化与硅化、绢云母化和碳酸盐化关系密切。岩体接触带和近矿围岩中发育粘土化、夕卡岩化、硅化、青磐岩化、角岩化。这种蚀变分带与成矿元素的分带较为一致,即岩体内部的石英钾长石化带和石英绢云母化带发育细脉浸染状 Cu-Mo 矿化,接触带附近的硅化、角岩化、夕卡岩化和青磐岩化带发育细脉浸染状、块状 Cu-Mo(Au)、Cu-Fe(Au) 矿化,下奥陶统向阳组地层中发育脉状 Au、Pb、Ag 矿化,总体表现出随着距岩浆活动中心越来越远,矿化类型和围岩蚀变反映出由高温向低温的演化序列。

2 岩体地球化学特征

近几年来,随着该区地质找矿工作的不断深入以及矿业市场的火红,云南铜业公司在该区开展了大规模采矿和探矿工作。大量探矿工程的投入,不但扩大了矿床规模,也将大量的地质现象、新鲜的岩石露头呈现在人们面前,这为在该区开展地质研究提供了前提条件。本次研究选择坑道内的新鲜岩石样品,镜下鉴定岩石未受蚀变矿化的影响,本文测试在河北廊坊中国地质科学院地球物理地球化学研究

所进行,主要对常量元素、微量元素和稀土元素进行了分析研究。

2.1 常量元素特征

表 1 列出了本次测试和收集到的马厂箐岩体岩石化学成分数据。

马厂箐复式岩体总体上具有相似的常量元素特征, SiO_2 含量变化于 61.56% ~ 71.63%,平均 67.30%($\geq 56\%$); Al_2O_3 含量变化于 13.38% ~ 17.18%,平均 15.44%($> 15\%$); K_2O 含量变化于 3.36% ~ 8.92%,平均 5.35%, $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$ 变化于 7.75% ~ 11.55%,平均 9.08%, $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 变化于 0.65 ~ 4.00,平均 1.49,明显地具有高钾钙碱性或钾玄岩系列特征(图 2)。 MgO 含量变化于 0.40% ~ 4.59%,平均 1.11%。对富碱岩体 SiO_2 含量与其他氧化物关系分析表明,主要氧化物随 SiO_2 含量的增加表现出基本正常的变化趋势,其中 Al_2O_3 、 MgO 、 CaO 、 Fe_2O_3 表现得更为明显,而 K_2O 、 Na_2O 的投点相对分散,其中 Na_2O 无明显变化,基本呈水平直线状, K_2O 也基本保持近水平,略有下降(图 3)。这种特征表明,区内岩体的 K_2O 和 Na_2O 含量并不随岩性酸度的增加而有明显的改变,而保持在大致相近并较高的范围内。从这点也可以看出,富碱斑岩从

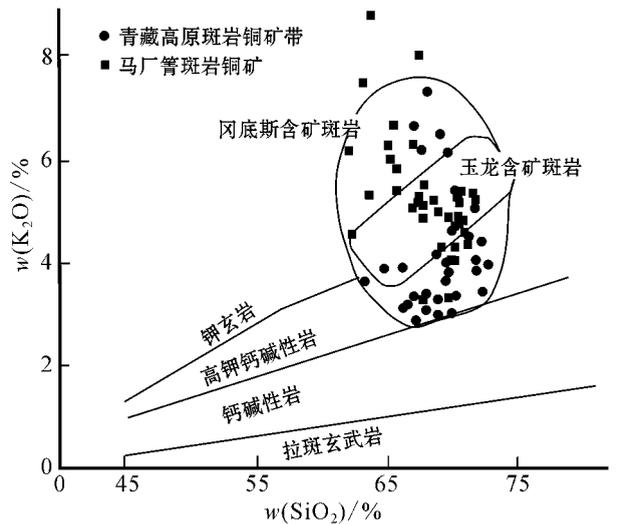


图 2 三江成矿带含矿斑岩的 $\text{K}_2\text{O}-\text{SiO}_2$ 图

(底图据侯增谦等, 2003)

Fig. 2 $\text{K}_2\text{O}-\text{SiO}_2$ diagram of ore-bearing porphyry in the Sanjiang ore-forming belt (after Hou Zengqian et al., 2003)

① 西南冶金地质勘探公司 310 队, 1981. 云南省祥云县马厂箐矿区铜钼矿评价地质报告(内部资料)。

表 1 马厂箐岩体岩石成分分析表

 $w_B/\%$

Table 1 Composition analyses of Machangjing porphyry

岩石名称	样号	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	K ₂ O/Na ₂ O	σ	AR	来源
碱性花岗岩		69.72	0.32	15.18	1.12	1.18	0.05	0.80	1.60	4.03	4.10	0.13	1.02	2.5	2.9	
碱性花岗岩		69.68	0.26	15.66	1.01	1.09	0.06	0.60	1.90	3.64	4.14	0.12	1.14	2.3	2.6	
碱性花岗岩		70.82	0.12	14.96	0.85	0.85	0.04	0.40	1.20	3.47	4.64	0.05	1.34	2.4	3.0	
正长斑岩		66.94	0.29	14.94	1.22	1.18	0.07	1.00	2.90	3.08	6.30	0.11	2.05	3.7	3.2	①
正长斑岩		67.82	0.21	15.66	0.60	1.50	0.05	0.80	1.40	3.54	5.50	0.08	1.55	3.3	3.3	
正长斑岩		69.12	0.24	15.09	1.35	0.63	0.05	1.10	1.90	4.17	4.89	0.16	1.17	3.1	3.3	
正长斑岩		67.89	0.29	16.80	1.27	1.07	0.04	1.40	1.30	5.20	3.38	0.15	0.65	3.0	2.8	
花岗斑岩	07BB9	70.47	0.26	14.96	0.29	1.08	0.03	1.12	1.54	3.40	5.45	0.13	1.60	2.9	3.3	
花岗斑岩	07BB22	67.88	0.36	14.80	0.62	1.90	0.04	1.51	1.96	4.46	5.15	0.23	1.15	3.7	3.7	
花岗斑岩	07BB31	71.09	0.30	14.68	0.45	1.06	0.02	1.21	1.27	3.86	4.43	0.21	1.15	2.4	3.2	
花岗斑岩	07BB32	70.34	0.25	14.58	0.81	1.02	0.03	0.76	1.49	4.01	5.40	0.12	1.35	3.2	3.8	
花岗斑岩	07BB37	71.63	0.25	14.79	0.61	1.06	0.03	0.97	1.40	3.46	5.13	0.14	1.48	2.6	3.3	
角闪二长斑岩	07BB40	63.11	0.31	13.38	0.96	1.72	0.06	4.59	3.04	2.23	8.92	0.33	4.00	6.2	5.2	②
正长斑岩	07BB42	69.28	0.28	14.91	0.52	1.10	0.03	1.33	1.46	4.39	4.29	0.11	0.98	2.9	3.3	
花岗斑岩	07BB43	71.38	0.27	14.15	0.65	1.03	0.03	0.81	1.21	4.02	5.36	0.14	1.33	3.1	4.1	
花岗斑岩	07BB44	70.16	0.27	14.73	0.90	0.90	0.03	0.75	1.55	3.85	5.32	0.14	1.38	3.1	3.6	
花岗斑岩	07BB46	69.61	0.33	15.50	0.97	0.88	0.03	1.16	1.09	4.90	3.36	0.14	0.69	2.6	3.0	
正长斑岩	07RB1	65.54	0.41	15.80	1.61	1.84	0.08	1.49	1.75	4.24	5.89	0.25	1.39	4.6	3.7	
花岗斑岩(12件)		67.44	0.30	15.86	1.75	1.97	0.11	0.63	0.34	3.02	5.24	0.13	1.74	2.8	3.1	③
花岗斑岩	MCQ-653	70.21	0.22	14.85	1.36	0.85	0.12	0.70	1.72	4.30	4.67	0.14	1.09	3.0	3.4	
花岗斑岩	MCQ-703	69.48	0.28	14.68	1.96	0.92	0.07	0.96	1.88	3.87	5.12	0.18	1.32	3.1	3.4	
花岗斑岩	MCQ-620	67.80	0.36	15.02	1.57	1.13	0.11	1.08	2.54	4.37	4.58	0.20	1.05	3.2	3.1	
花岗斑岩	MCQ-650	69.70	0.22	14.85	1.20	0.96	0.13	0.68	1.74	4.34	4.56	0.12	1.05	3.0	3.3	
花岗斑岩	MCQ-30	70.41	0.17	17.18	0.64	0.96	0.07	0.41	0.50	3.81	4.80	0.13	1.26	2.7	2.9	
角闪正长岩	MCQ-634	65.41	0.30	14.68	1.16	1.26	0.09	2.08	2.22	4.27	6.68	0.20	1.56	5.4	4.7	④
角闪正长岩	MCQ-663	65.38	0.28	15.64	0.72	1.67	0.10	1.18	3.72	4.72	5.45	0.18	1.15	4.6	3.2	
角闪正长岩	MCQ-645	62.80	0.36	14.68	1.70	1.31	0.12	3.35	3.11	3.70	7.45	0.28	2.01	6.3	4.4	
角闪正长岩	MCQ-29	67.56	0.25	16.22	0.13	0.97	0.09	1.00	2.32	2.50	8.00	0.15	3.20	4.5	3.6	
角闪正长岩	MCQ-26	62.03	0.59	17.18	2.10	2.16	0.10	2.41	3.20	3.43	4.55	0.35	1.33	3.3	2.3	
角闪正长岩	MCQ-28	66.94	0.23	16.94	0.29	0.91	0.07	1.01	2.50	4.48	4.35	0.12	0.97	3.3	2.7	
花岗斑岩(9)		69.59	0.26	15.16	1.60	1.31	0.08	0.96	1.52	3.91	5.08	0.15	1.30	3.0	3.3	
碱长花岗岩(8)		68.43	0.32	15.40	1.48	2.05	0.07	0.44	0.37	3.22	5.28	0.14	1.64	2.8	3.3	
正长斑岩(6)		64.67	0.30	15.42	1.88	2.12	0.06	1.63	2.01	4.04	6.32	0.17	1.56	4.9	3.9	
碱性花岗岩(3)		70.07	0.23	15.27	0.99	1.04	0.05	0.60	1.57	3.71	4.29	0.10	1.16	2.4	2.8	
角闪正长岩(7)		65.24	0.32	15.83	1.02	1.49	0.09	1.75	2.63	3.99	6.04	0.21	1.51	4.5	3.4	
石英正长斑岩(5)		63.23	0.40	16.65	1.35	2.44	0.06	0.89	2.30	4.02	5.30	0.19	1.32	4.3	2.9	⑤
正长斑岩(5)		67.29	0.26	15.70	1.31	1.04	0.05	1.24	1.76	4.10	5.05	0.14	1.23	3.4	3.2	
石英碱长斑岩		69.70	0.22	14.85	1.20	0.96	0.13	0.68	1.74	4.34	4.56	0.12	1.05	3.0	3.3	
二长花岗斑岩(2)		68.64	0.32	14.85	1.32	1.03	0.09	1.02	2.21	4.12	4.85	0.19	1.18	3.1	3.2	
正长斑岩(4)		61.56	0.69	14.27	2.15	3.11	0.34	1.96	3.51	2.92	6.26	0.36	2.14	4.5	3.1	

数据来源:① 毕献武等(1999);② 本文,2008,由河北廊坊物化探研究所测试;③ 西南有色地质勘查局地质研究所(1995)⁹;④ 梁华英等(2004);⑤ 葛良胜(2008)。

正长斑岩→二长斑岩→花岗斑岩的演化,尽管富碱斑岩的酸性程度(SiO₂含量)及岩性有所变化,但Na₂O、K₂O以及Na₂O+K₂O的单量和总量是在一个范围不大的区间变化。花岗岩、花岗斑岩里特曼

指数(σ)变化于2.3~3.7,碱度率(AR)变化于2.6~4.1;正长岩、正长斑岩、二长斑岩里特曼指数(σ)变化于2.9~6.3,碱度率(AR)变化于2.7~5.2。在R₁-R₂图解中(图4),处在造山晚期和同碰撞期

① 西南有色地质勘查局地质研究所,1995. 扬子地台西缘富碱斑岩铜多金属矿床形成系列及找矿前景(内部资源)。

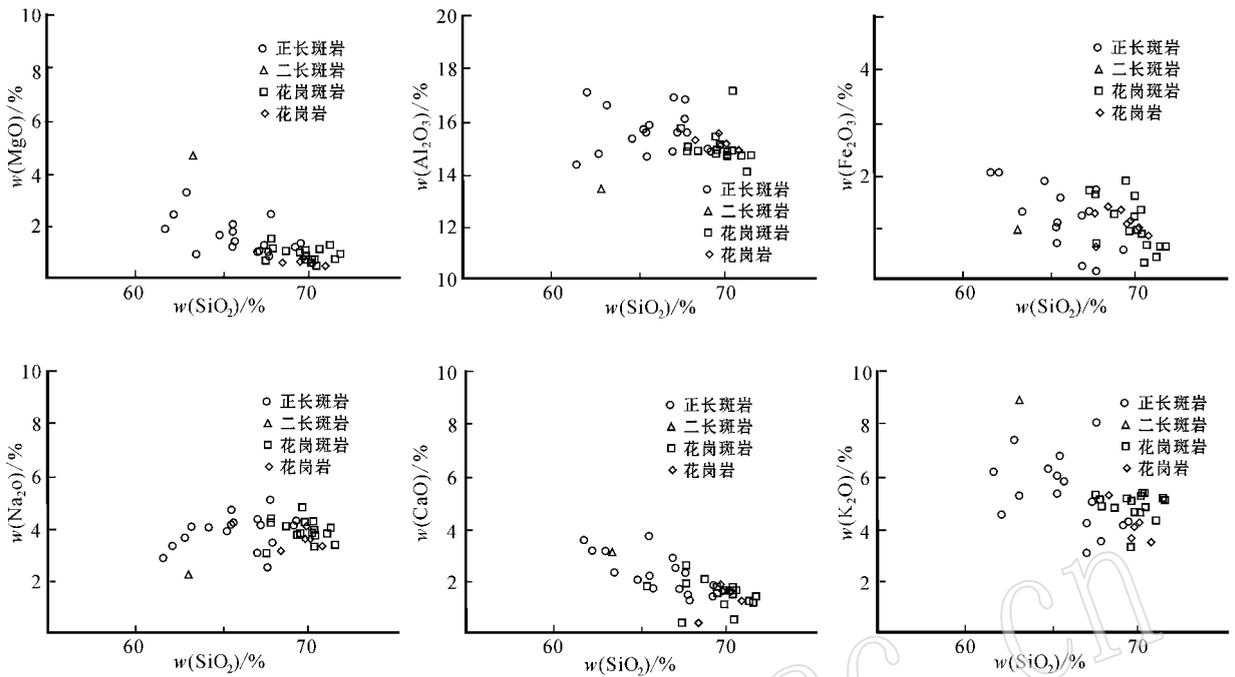
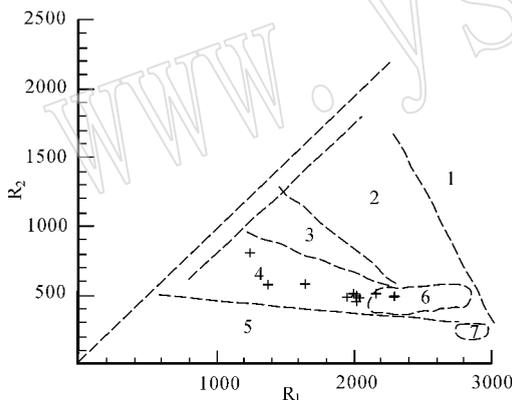


图 3 马厂箐富碱斑岩体 SiO_2 -其他氧化物含量变异图解

Fig.3 Map showing variation of SiO_2 -oxide contents in Machangjing alkali-rich porphyry



1-地幔分离; 2-板块碰撞前的; 3-碰撞后的抬升; 4-造山晚期的
5-非造山的; 6-同碰撞期的; 7-造山后的

图 4 马厂箐岩体主元素 R_1 - R_2 图解(底图据

Bachelor 和 Bowden, 1985)

Fig.4 R_1 - R_2 plot of Machangjing complex (map base after

Bachelor and Bowden, 1985)

岩浆岩范围内。

可以看出,马厂箐岩体属中酸性到酸性岩,以酸性岩为主,属于 SiO_2 饱和(或过饱和)和铝过饱和类型,具有高钾、富碱的显著特征,属于高钾钙碱性或钾玄岩系列。与中国 A 型花岗岩(73.55%)和世界

A 型花岗岩(73.81%)相比,马厂箐岩体 SiO_2 含量较低,而 Al_2O_3 含量(15.44%)明显高于中国 A 型花岗岩(12.81%)和世界 A 型花岗岩(12.40%), $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$ 含量(9.08%)与中国 A 型花岗岩(8.45%)和世界 A 型花岗岩(8.72%)相差不多,相当于正常的世界花岗岩($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} = 7.75\%$)和我国花岗岩类岩石($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} = 7.71\%$)黎彤等,1998)的平均成分。大多数富碱斑岩中均少见有霞石、白榴石或者碱性暗色矿物分子出现,表明富碱斑岩不是典型的碱性岩,与金沙江-哀牢山富碱斑岩带上其他岩体一致(曾普胜等,2002)。

据何明勤等(2004)资料,马厂箐岩体里特曼指数(σ)为 1.51~5.39,平均为 2.96,小于 4,处在里特曼划分的钙碱性岩系范围内。据西南冶金地质勘探公司 310 队(1981)资料,马厂箐富碱斑岩体(不包括煌斑岩)铁镁矿物含量较少,碱性长石(其中钾、钠含量相当)较多,钙长石较少,岩石中贫钙而富铝,属铝过饱和系列,其皮科克(M.A.Peacock)指数为 53.6,表明马厂箐岩体属于钙碱性系列岩石。

2.2 稀土、微量元素特征

表 2 列出了本次测试的马厂箐岩体微量元素和

表 2 马厂箐岩体微量元素、稀土元素含量表

 $w_B/10^{-6}$

Table 2 Data of trace elements and rare earth elements in Machangjing complex

岩性 编号	花岗斑岩							角闪二长斑岩		正长斑岩	
	07BB9	07BB22	07BB31	07BB32	07BB37	07BB43	07BB46	07RB1	07BB40	07BB42	07BB44
Ba	1 020	1 362	1 349	1 176	1 221	829	921	2 076	1 057	961	2 076
Rb	188	198	208	223	254	301	264	258	370	267	258
Sr	558	630	688	604	712	564	349	647	337	356	647
Pb	21	28	17	24	18	19	10	26	16	16	26
Th	19.8	25.2	25.1	30.6	30.4	31.1	15.0	33.2	19.2	14.7	33.2
U	6.65	8.23	6.78	11.27	8.77	10.68	4.25	10.16	5.38	4.71	10.16
Zr	172	166	152	254	214	187	140	164	254	131	164
Nb	11.8	13.1	9.8	19.4	12.2	14.8	4.5	14.9	10.7	6.1	14.9
Sc	3.3	4.2	3.8	2.5	3.0	3.3	3.7	3.6	7.9	3.4	3.6
V	27	40	33	24	28	32	35	32	45	31	32
Cr	19.4	27.1	21.3	12.4	26.5	19.6	46.3	18.4	292.7	42.1	18.4
Ni	13.6	21.8	10.5	7.3	11.6	13.2	35.0	12.7	99.3	27.0	12.7
Ga	20.6	19.1	18.7	18.6	18.6	20.7	22.2	22.9	17.9	21.1	22.9
Co	3.7	9.4	6.6	3.7	4.0	4.2	7.0	4.9	8.2	4.9	4.9
Ta	0.98	1.07	0.80	1.56	0.96	1.18	0.37	1.15	0.78	0.56	1.15
Hf	7.6	6.0	5.3	8.3	7.7	8.4	4.6	7.5	8.2	4.5	7.5
Cs	3.1	4.0	3.9	4.0	4.2	10.5	9.0	10.8	10.9	7.7	10.8
Cu	367.7	709.8	511.8	33.1	56.3	141.6	365.4	87.0	583.3	201.7	87.0
Zn	25	33	17	17	17	19	27	21	61	22	21
La	38.7	51.1	59.5	72.1	72.7	60.9	36.8	45.8	12.9	24.1	45.8
Ce	74	107	116	131	131	111	69	96	37	50	96
Pr	8.17	12.28	12.65	13.56	13.42	11.35	8.15	10.89	5.22	5.84	10.89
Nd	29.60	45.66	46.01	46.97	45.48	39.64	29.49	38.94	21.94	21.97	38.94
Sm	4.49	6.77	6.49	6.26	6.15	5.78	4.32	5.60	4.32	3.35	5.60
Eu	1.07	1.74	1.52	1.43	1.39	1.27	1.01	1.34	0.95	0.83	1.34
Gd	3.28	4.93	4.65	4.39	4.34	4.04	2.97	4.04	3.52	2.45	4.04
Tb	0.41	0.59	0.57	0.57	0.55	0.50	0.34	0.49	0.50	0.29	0.49
Dy	2.10	2.88	2.83	3.05	2.80	2.60	1.57	2.50	2.75	1.38	2.50
Ho	0.35	0.48	0.47	0.53	0.50	0.45	0.25	0.44	0.49	0.21	0.44
Er	0.95	1.29	1.28	1.45	1.37	1.25	0.59	1.20	1.32	0.57	1.20
Tm	0.15	0.20	0.20	0.23	0.21	0.19	0.08	0.19	0.21	0.08	0.19
Yb	0.94	1.24	1.18	1.51	1.32	1.23	0.49	1.19	1.30	0.47	1.19
Lu	0.12	0.17	0.16	0.20	0.16	0.18	0.06	0.16	0.17	0.06	0.16
Y	10.6	13.2	12.4	14.9	14.0	12.5	6.8	12.8	13.6	6.2	12.8
REE	164.33	236.33	253.51	283.25	281.39	240.38	155.12	208.78	92.59	111.6	208.78
δ Eu	1.23	1.14	1.24	1.26	1.28	1.31	1.22	1.22	1.38	1.18	1.22
LREE/HREE	18.8	19.06	21.36	22.74	24.01	22.02	23.43	19.45	8.02	19.25	19.45

稀土元素数据。结合前人测试数据(邓万明, 1998; 毕献武等, 1999; 谢应雯等, 1999; 何明勤等, 2004)可以看出, 马厂箐岩体以相对亏损高场强元素 HFSE(Nb、Ta、Ti)为特征, Sr 含量高($337 \times 10^{-6} \sim 718 \times 10^{-6}$), Y 含量变化于 $2.24 \times 10^{-6} \sim 19.3 \times 10^{-6}$, 只有 1 个样品为 19.3×10^{-6} , 主要集中在 $6.2 \times 10^{-6} \sim 15.8 \times 10^{-6}$ 之间(均小于 18×10^{-6}), Yb 含量变化于 $0.20 \times 10^{-6} \sim 1.63 \times 10^{-6}$ 之间(均小于 1.9×10^{-6}) 轻重稀土元素强烈分异, 且具有明显的轻稀土元素富集的特点, LREE/HREE 变化于 8.02

~ 24.01 ; Sr/Y 除 1 件样品为 24.8 外, 其余变化于 40.5~57.4 之间, 平均 48.2 (>40); La/Yb 除 1 件样品为 9.9 外, 其余变化于 17.5~105.8 之间, 平均 43.4 (>20), Sc 变化于 $2.5 \times 10^{-6} \sim 7.9 \times 10^{-6}$ 之间 ($<10 \times 10^{-6}$); δ Eu 变化于 0.81~1.38, 平均为 1.24, 不具有明显的异常或略显正异常。

花岗斑岩 Sr 含量高($349 \times 10^{-6} \sim 712 \times 10^{-6}$), Y 含量变化于 $6.8 \times 10^{-6} \sim 14.9 \times 10^{-6}$ 之间, 均小于 18×10^{-6} , Yb 含量变化于 $0.49 \times 10^{-6} \sim 1.51 \times 10^{-6}$ 之间, 均小于 1.9×10^{-6} , 轻重稀土元素强烈分

异,且具有明显的轻稀土元素富集特点, LREE/HREE 变化于 14.35~24.01; Sr/Y 变化于 40.5~55.5 之间,均大于 40; La/Yb 变化于 33.9~75.1 之间,均大于 20; Sc 变化于 2.5×10^{-6} ~ 4.2×10^{-6} 之间,均小于 10×10^{-6} ; δEu 变化于 1.14~1.32,不具有明显异常或略显正异常。

正长斑岩 Sr 含量高(356×10^{-6} ~ 718×10^{-6}), Y 含量变化为 6.2×10^{-6} 和 12.8×10^{-6} ,均小于 18×10^{-6} , Yb 含量变化于 0.47×10^{-6} ~ 1.63×10^{-6} 之间,均小于 1.9×10^{-6} ,轻重稀土元素强烈分异,且具有明显的轻稀土元素富集的特点, LREE/HREE 变化于 10.12~19.45; Sr/Y 为 50.5 和 57.4,均大于 40; La/Yb 变化于 14.8~51.3 之间,平均 31.6,大于 20; Sc 变化于 3.4×10^{-6} ~ 4.3×10^{-6} 之间,均小于 10×10^{-6} ; δEu 变化于 1.11~1.23,不具有明显的异常或略显正异常。

二长斑岩 Sr 含量 356×10^{-6} , Y 含量为 10.52×10^{-6} 和 15.10×10^{-6} ,均小于 18×10^{-6} , Yb 含量变为 1.41×10^{-6} 和 0.81×10^{-6} ,均小于 1.9×10^{-6} ,轻重稀土元素强烈分异,且具有明显的轻稀土元素富集的特点, LREE/HREE 变化于 8.02~22.41; Sr/Y 为 24.8,小于 40; La/Yb 变化于 9.9~43.5 之间,平均 30.7,大于 20; Sc 为 7.9×10^{-6} ,小于 10×10^{-6} ; δEu 变化于 0.81~1.38,不具有明显异常或略显正异常。

斑状花岗岩 Sr 含量高(501×10^{-6} ~ 638×10^{-6}), Y 含量变化为 6.2×10^{-6} 和 12.8×10^{-6} ,均小于 18×10^{-6} , Yb 含量变化于 0.47×10^{-6} ~ 1.63×10^{-6} 之间,均小于 1.9×10^{-6} ,轻重稀土元素强烈分异,且具有明显的轻稀土富集的特点, LREE/HREE 为 18.13~22.46; La/Yb 为 42.8 和 105.8,大于 20; Sc 变化于 2.8×10^{-6} ~ 4.6×10^{-6} 之间,均小于 10×10^{-6} ; δEu 为 1.31 和 1.08,不具有明显的异常或略显正异常。在 Sr/Y-Y (图 5) 和 Sr/Yb-Yb 图(图 6)上总体上处于埃达克岩区范围内,显示埃达克岩的地球化学特征。

3 讨论与结论

埃达克岩最早由 Kay(1978)在美国阿留申群岛中的 Adak 岛发现,由 Defant 和 Drummod(1990)命名。研究发现,埃达克岩(adakite)或埃达克质岩(adakitic rock)与大型-超大型斑岩 Cu, Au, Mo, Ag, Fe

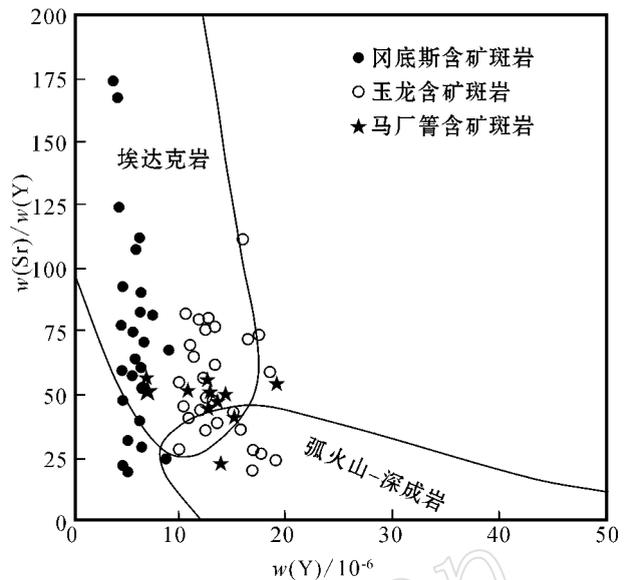


图 5 三江成矿带含矿斑岩的 Sr/Y-Y 图(底图据侯增谦等 2003 埃达克岩与典型弧岩浆岩的分区界线据 Defant 等 1990)

Fig. 5 Sr/Y-Y dotted plot of ore-bearing porphyry in the Sanjiang ore-forming belt (map base after Hou Zengqian *et al.*, 2003; the boundary between adakite and typical magmatite after Defant *et al.*, 1990)

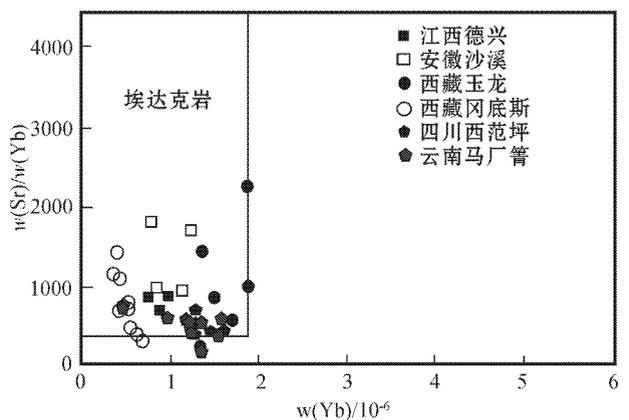


图 6 三江成矿带含矿斑岩 Sr/Yb-Yb 图(底图据张旗等 2002 埃达克岩范围据 Kay 等 2002)

Fig. 6 Sr/Yb-Yb dotted diagram of ore-bearing porphyry in the Sanjiang ore-forming belt (map base after Zhang Qi *et al.*, 2002; the area of adakite after Kay *et al.*, 2002)

矿床和浅成低温热液 Au, Ag 矿床在时间、空间和成因上具有特殊的关系(Thieblemont and Stein, 1997; Oyarzun *et al.*, 2001; Sajona and Maury, 1998; Bellon and Yumul, 2001; Hou *et al.*, 2003; 张旗等, 2002; 侯增谦等, 2001, 2003, 2004, 2005), 认为埃达

克岩是斑岩铜矿的重要的含矿母岩(侯增谦等, 2003)。Defant 等(2002)指出,埃达克岩可作为找矿的标志来使用,它及其伴生的富 Nb 岛弧玄武岩)对勘查金铜矿床所起的作用可与金伯利岩找金刚石媲美。按照 Defant(1990)的原始定义,埃达克岩具有如下典型特征:岩石类型为中酸性钙碱性岩石,缺失基性端员,岩石组合为岛弧安山岩、英安岩、流纹岩及相应的侵入岩;主要的矿物组合为:斜长石+角闪石±黑云母±辉石±不透明矿物; $\text{SiO}_2 \geq 56\%$, $\text{Al}_2\text{O}_3 \geq 15\%$, MgO 通常小于 3%(很少大于 6%);与正常的岛弧安山岩、英安岩、流纹岩相比,贫重稀土元素(HREE)和 Y($Y \leq 18 \times 10^{-6}$, $Yb \leq 1.9 \times 10^{-6}$),高 Sr(多数大于 400×10^{-6}),富轻稀土元素(LREE),无 Eu 异常或仅有轻微的负 Eu 异常。钱青(2001)综合 20 年来国际上有关埃达克岩的文献资料,认为埃达克岩是一类高铝的中酸性火山岩或侵入岩,主要矿物组合为:斜长石+角闪石±黑云母,单斜辉石和斜方辉石极少。副矿物包括磷灰石、锆石、榍石及钛铁矿等,典型地球化学特征: $\text{SiO}_2 \geq 56\%$, $\text{Al}_2\text{O}_3 \geq 15\%$, $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 比值低(< 0.5), MgO 通常小于 3%(很少大于 6%), $\text{Mg}^\# [\text{Mg}^{2+}/(\text{Mg}^{2+} + \text{Fe}^{\text{T}})]$ 一般大于 0.47,甚至高达 0.70; Sr 含量高($400 \sim 2000$) $\times 10^{-6}$, Y 和 HREE 含量低($Y \leq 18 \times 10^{-6}$, $Yb \leq 1.9 \times 10^{-6}$), REE 强烈分异, La/Yb (> 20)和 Sr/Y (> 40)比值很高, $\text{Sc} < 10 \times 10^{-6}$; 高场强元素(HFSE)亏损, Sr 和 Eu 呈正异常或没有异常,一般不具负异常。在 $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}) - \text{SiO}_2$ 图解中, adakite 落在钙碱性范围。侯增谦等(2003)认为,弧造山环境含矿斑岩主要为钙碱性和高钾钙碱性系列,而碰撞造山环境含矿斑岩则主要为高钾钙碱性系列和钾玄岩系列。张旗等(2002)指出,埃达克岩不是指某一种具体的岩石类型,而是指具有特定地球化学性质的一套中酸性火山岩和侵入岩组合,包括安山岩、英安岩、安粗岩、石英闪长岩、花岗闪长岩、石英二长岩、英云闪长岩、斜长花岗岩等。通常由斜长石、石英和角闪石组成,黑云母、辉石和不透明矿物可有可无。埃达克岩是根据岩石地球化学特征而提出的(张旗等 2002)。

从前面讨论可知,马厂箐岩体主要包括正长斑岩、石英正长斑岩、二长斑岩、石英二长斑岩、斑状花岗岩、花岗斑岩、碱长花岗斑岩等(赵淮, 1995),主要矿物为斜长石、石英、角闪石、黑云母以及由钾化作用形成的钾长石,副矿物有磷灰石、榍石、锆石、磁铁

矿。斑晶主要为钾长石、斜长石、石英、角闪石和黑云母,基质主要由微细粒长石、石英和少量黑云母组成,显示出埃达克岩的岩石类型和矿物组合特征。从常量元素特征上看,马厂箐复式岩体 SiO_2 平均含量 67.30% ($\geq 56\%$), Al_2O_3 平均 15.44% ($\geq 15\%$), MgO 平均 1.11% ($< 3\%$), K_2O 平均 5.35%, $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$ 平均 9.08%, $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 平均 1.49, 明显地具有高钾富碱的特征,属于高钾钙碱性或钾玄岩岩石系列特征,显示出埃达克岩的常量元素特征。从微量元素、稀土元素特征上看,马厂箐岩体高场强元素 HFSE(Nb、Ta、Ti)相对亏损, Sr 含量高($337 \times 10^{-6} \sim 1046 \times 10^{-6}$), Y 主要集中在 $6.2 \times 10^{-6} \sim 15.8 \times 10^{-6}$ 之间(均小于 18×10^{-6}), Yb 处在 $0.20 \times 10^{-6} \sim 1.63 \times 10^{-6}$ 之间(均小于 1.9×10^{-6}), LREE/HREE 变化于 8.02~24.01, 具有明显的轻稀土富集的特点, Sr/Y 平均 48.2 (> 40), La/Yb 平均 43.4 (> 20), Sc 变化于 $2.5 \times 10^{-6} \sim 7.9 \times 10^{-6}$ 之间($< 10 \times 10^{-6}$), δEu 平均为 1.24, 无明显异常或略显正异常, 显示出埃达克岩的微量元素和稀土元素地球化学特征。因此,马厂箐岩体是一种埃达克岩或埃达克质岩。

与正常的长英质岩浆不同,埃达克质岩浆以其高水含量、高氧逸度(f_{O_2})和富硫为特征(Oyarzun *et al.*, 2001),成为斑岩铜矿的重要含矿母岩和金属、硫的可能载体(侯增谦等, 2003)。熔体的富水性质导致高度氧化的岩浆系统,其氧逸度被镍-氧化镍和赤铁矿-磁铁矿缓冲剂缓冲(Imai *et al.*, 1993)。氧逸度的提高引起岩浆系统中 $\text{SO}_2/\text{H}_2\text{S}$ 比值急剧增大,从而导致 S 从埃达克质熔体中完全分离(Burnham, 1979)。来自俯冲洋壳板片的埃达克质熔体,在其上升运移过程中,或者与热的地幔楔形区的橄榄岩发生相互反应(Kay, 1978),或者与幔源熔体发生混合(Defant and Drummond, 1990),这些过程可能是其富含金属和硫的重要途径(侯增谦等, 2003)。埃达克质熔体与橄榄岩相互反应,将大幅度提高埃达克质熔体的 $\text{Mg}^\#$ 值和 Fe 含量(Kay, 1978; Kelemen, 1995),从而增大硫在熔体中的溶解度,埃达克质熔体与幔源熔体发生混合,将从幔源流体中获取大量的铜和其他金属以及硫(侯增谦等, 2003)。可以看出,埃达克岩或埃达克质岩具有富水、高氧逸度和富集大量铜等金属元素和硫的特点,即具备容载大量金属元素和硫的能力(侯增谦等, 2003),这正是斑岩型矿床形成的关键因素。

综上所述,马厂箐岩体是一种埃达克岩,属于碰撞造山环境形成的 C 型埃达克岩,相当于张旗等(2004)划分 C 型埃达克岩中的钾质埃达克岩。马厂箐岩体埃达克岩性质的厘定,对于评价马厂箐岩体的成矿潜力具有一定的意义,也进一步树立了在该区的找矿信心。

References

- Bi Xianwu, Hu Ruizhong, Mungall J E, *et al.* 2006. Mineral chemistry studies of Cu-and Au-mineralized alkaline intrusions[J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 26(4): 377~385 (in Chinese with English abstract).
- Bi Xianwu, Hu Ruizhong, Peng Jiantang, *et al.* 2005. Geochemistry characteristics of alkaline intrusions of Yaon and Machangqing[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 21(1): 113~124 (in Chinese).
- Bi Xianwu, Hu Ruizhong, Ye Zaojun, *et al.* 1999. Research on the relationship between A-type granitoid and Cu metallogenic-taking Machangqing Cu deposit as an example[J]. *Science of China(D)*, 2(6): 489~495 (in Chinese).
- Bellon H and Yumul Jt G P. 2001. Miocene to Quaternary adakites and related rocks in western Philippine arc sequences[J]. *Earth and Planetary Sciences*, 333: 343~350.
- Burnham C W. 1979. Magma and hydrothermal fluids[A]. Barnes H L. *Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits*[C]. New York: Wiley, 71~136.
- Defant M J and Drummond M S. 1990. Derivation of some modern arc magmas by melting of young subducted lithosphere[J]. *Nature*, 347: 662~665.
- Defant M J, Xu J F, Kepezhinskas P, *et al.* 2002. Adakites: some variations on a theme[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 18: 129~142.
- Deng Wanming, Huang Xuan and Zhong Dalai. 1998. Petrologic characteristics and genesis of Cenozoic alkali porphyries in the western of Yunnan[J]. *Chinese Journal of Geology*, 33(4): 412~425 (in Chinese with English abstract).
- Ge Liangsheng. 2008. Alkali-rich Magmatism and Au-polymetal Metallogenic System in Northwestern Yunnan[D]. Beijing: China University of Geosciences (in Chinese with English abstract).
- Ge Liangsheng, Zou Yilin, Li Zhenhua, *et al.* 2002. Geological features and genesis of machangqing Cu-Mo-Au deposit related to the rich-alkali magmatic rock, Yunnan province[J]. *Geology and Prospecting*, 38(5): 11~17 (in Chinese with English abstract).
- He Mingqin and Yang Shiyu. 2004. Geological Geochemistry and Genesis of Xiaolongtan-Machangqing Cu-Au Polymetallic Ore Deposit in Western Yunnan[M]. Beijing: Geol. Pub. House (in Chinese).
- Hou Zengqian. 2004. Porphyry Cu-Mo-Au deposits: Some new insights and advances[J]. *Earth Science Frontiers*, 11(1): 131~144 (in Chinese with English abstract).
- Hou Z Q, Ma H W, ZAK K, *et al.* 2003. The Himalayan Yulong porphy copper belt: Product of Large-scale strike-slip faulting in eastern Tibe[J]. *Economic Geology*, 98: 125~145.
- Hou Zengqian, Meng Xiangjin and Qu Xiaoming. 2005. Copper ore potential of adakitic intrusives in Gangdese porphyry copper belt: Constraints from rock phase and deep melting process[J]. *Mineral Deposits*, 24(2): 108~121 (in Chinese with English abstract).
- Hou Zengqian, Mo Xuanxue, Gao Yongfeng, *et al.* 2003. Adakite, a possible host rock for porphyry copper deposits: case studies of porphyry copper belts in Tibetan Plateau and in Northern Chile[J]. *Mineral Deposits*, 22(1): 1~11 (in Chinese with English abstract).
- Hou Zengqian, Qu Xiaoming, Huang Wei, *et al.* 2001. The Gangdese porphyry copper belt: the second significant porphyry copper belt in Tibetan plateau[J]. *China Geology*, 28: 27~29 (in Chinese with English abstract).
- Hu Ruizhong, Bi Xianwu, Turner G, *et al.* 1997. He-Ar isotopic system in pyrite fluid inclusions of Machangqing Cu deposit[J]. *Science of China D*, 27(6): 503~508 (in Chinese).
- Imai A, Listanco E L and Fujii T. 1993. Petrologic and sulfur isotopic significance of highly oxidized and sulfur-rich magma of Mount Pinatubo, Philippines[J]. *Geology*, 21: 699~702.
- Kay R W. 1978. Aleutian magnesium andesites: melts from subducted Pacific oceanic crust[J]. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 4: 117~132.
- Keleman B P. 1995. Genesis of high Mg[#] andesites and the continental crust[J]. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 120: 1~19.
- Li Tong, Yuan Huaiyu and Wu Shengxi. 1998. On the average chemical composition of granitoids in China and the world[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 22(1): 29~34 (in Chinese with English abstract).
- Liang Huaying, Xie Yingwen and Zhang Yuquan. 2004. Forming of K-rich alkalescence rock restrict the metallogenic of Cu-Machangqing Cu Deposit as an example[J]. *Natural Science Evolution*, 14(1): 116~120 (in Chinese).
- Liu Xianfan, Liu Jiaduo, Zhang Chengjiang, *et al.* 2004. Isotopic geochemistry of intrusives and ore-veins from alkali-rich porphyry type deposits in western Yunnan, China[J]. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 23(1): 32~39 (in Chinese with English abstract).
- LÜ Boxi and Qian Xianggui. 2000. Tectonic types of Cenozoic alkalic series magmatic rocks in Sanjiang region, western Yunnan, China[J]. *Geology in Yunnan*, 19(3): 232~243 (in Chinese with English abstract).
- Luo Junlie and Li Zhiwei. 2001. New advances of magma in Himalaya and its metallogeny in central-western Yunnan[J]. *Yunnan Geology*, 20(3): 229~242 (in Chinese with English abstract).
- Luo Yaonan and Yu Rulong. 2001. Major features and dynamic model of the Himalayan tectono-magmatism in the intracontinental orogenic belt in Longmenshan-Jinpingshan Mountains[A]. Chen Yuchuan, *et al.* *Study on Himalayan Endogenic Mineralization*[C]. Beijing: Seismic Publishing House, 88~95 (in Chinese with English abstract).

- Oyarzun R, Morquez A, Lillo J, *et al.* 2001. Giant versus small porphyry copper deposits of Cenozoic age in northern Chile: adakitic versus normal calc-alkaline magmatism[J]. *Mineral Deposit*, 36: 794~798.
- Peng Jiantang, Bi Xianwu, Hu Ruizhong, *et al.* 2005. Determination of porphyry ore and rock forming time of the machangqing Cu(Mo) deposit, Western Yunnan Province[J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 25(1): 69~74 (in Chinese with English abstract).
- Qian Qing. 2001. Adakite: geochemical characteristics and genesis[J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 20(3): 297~306 (in Chinese with English abstract).
- Sajona F G and Maury R C. 1998. Association of adakites with gold and copper mineralization in the Philippines[J]. *CRACAD SCI II A*, 32(1): 27~34.
- Thieblemont D and Stein G. 1997. Lescuyer J-L. Gisements epitemaux et Prophyriques la connexion adakit[J]. *Earth Planet. Sci.*, 325: 103~109.
- Tu Guangchi, Zhang Yuquan and Zhao zhenhua. 1984. Preliminary Research of Two Adakitic Intrusive Belts in Southern China. Granite Geology and It's Relation to Metallogeny[M]. Nanjing: Science Publishing House of Jiangsu, 21~37 (in Chinese).
- Wang Denghong, Qu Wenjun, Li Zhiwei, *et al.* 2004. The mineralization concentration stage of Jinshajiang-Honghe metallogenetic belt porphyry copper, molybdenum deposit[J]. *Science in China(D)*, 34(4): 345~349 (in Chinese).
- Xie Yingwen, Zhang Yuquan and Tu Guangchi. 1984. Preliminary study on chemistry and metallogenic specialization of the Ailaoshan-Jinshajiang alkali intrusive rock belt[J]. *Journal of Kunming College of Technology*, (4): 1~7 (in Chinese with English abstract).
- Xie Yingwen, Zhang Yuquan, Zhong Sunlin, *et al.* 1999. Trace element characteristics of the Cenozoic high-K alkaline magmatic rock series in the eastern Erhai, Yunnan Province[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 15(1): 75~82 (in Chinese with English abstract).
- Yang Jiankun and Tang Zhiguo. 1996. Mineralization Characteristics and prospective prediction of the Cenozoic hypabyssal porphyry gold deposit in Yunnan Province[J]. *Beijing Geology*, 3: 27~31 (in Chinese with English abstract).
- Yang Jianmin, Xue Chunji, Xu Jue, *et al.* 2001. Geological features and mineralization of Himalayan alkalic porphyry in Western Yunnan [A]. Chen Yuchuan *et al.* Study on Himalayan Endogenic Mineralization[C]. Beijing: Seismic Publishing House, 88~95 (in Chinese with English abstract).
- Zhao Huai. 1995. Metallogenic model of Pb-Cu-Mo-Au deposit related to porphyry of Himalaya period in Zhongdian-Dali-Jinping area[J]. *Yunnan Geology*, 14(4): 333~341 (in Chinese).
- Zeng Pusheng, Hou Zengqian, Gao Yongfeng, *et al.* 2006. The Himalayan Cu-Au mineralization in the Eastern Indo-Asian collision zone: Constraints from Re-Os dating of molybdenite[J]. *Geological Review*, 52(1): 72~84 (in Chinese with English abstract).
- Zeng Pusheng, Mo Xuanxue and Yu Xuehui. 2002. Nd, Sr and Pb isotopic characteristics of the alkali-rich porphyries in western Yunnan and its compression strike-slip setting[J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 21(3): 231~241 (in Chinese with English abstract).
- Zeng Pusheng, Yang Weiguang and Yu Xuehui. 1999. Alkali-rich porphyry zone and the relationship between the porphyry and gold metallization in the western Yunnan[J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 20(sup.): 367~372. (in Chinese with English abstract).
- Zhang Yuquan and Xie Yingwen. 1997. Chronology and Nd-Sr isotopes of the Ailaoshan-Jinshajiang alkali-rich intrusions[J]. *Science of China(D)*, 27(4): 289~293 (in Chinese).
- Zhang Yuquan, Xie Yingwen and Tu Guangchi. 1987. Preliminary Studies of the alkali-rich intrusive rocks in the Ailaoshan-Jinshajiang Belt and their relationship with rift tectonics[J]. *Acta Petrologica Sinica*, (1): 17~25 (in Chinese).
- Zhang Qi, Wang Yan and Liu Wei. 2002. Adakite: its characteristics and implication[J]. *Geol. Bull. China*, 21(7): 431~435 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Qi, Xu Jifeng, Wang Yan, *et al.* 2004. Diversity of adakite[J]. *Geol. Bull. China*, 23(9~10): 959~965 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 毕献武, 胡瑞忠, Mungall J E 等. 2006. 与铜、金矿化有关的富碱侵入岩矿物化学研究[J]. *矿物学报*, 26(4): 377~385.
- 毕献武, 胡瑞忠, 彭建堂 等. 2005. 姚安和马厂箐富碱侵入岩体岩石地球化学特征[J]. *岩石学报*, 21(1): 113~124.
- 毕献武, 胡瑞忠, 叶造军 等. 1999. A型花岗岩类与铜成矿关系研究——以马厂箐为例[J]. *中国科学(D)*, 29(6): 489~495.
- 邓万明, 黄 董, 钟大赉. 1998. 滇西新生代富碱斑岩的岩石特征与成因[J]. *地质科学*, 33(4): 412~425.
- 葛良胜. 2008. 滇西北富碱岩浆活动与金多金属成矿系统(博士论文)[D]. 北京: 中国地质大学.
- 葛良胜, 邹依林, 李振华 等. 2002. 云南马厂箐(铜、钼)金矿床地质特征及成因研究[J]. *地质与勘探*, 38(5): 11~17.
- 何明勤, 杨世瑜. 2004. 滇西小龙潭-马厂箐地区铜金多金属矿床地质地球化学及成因研究[M]. 北京: 地质出版社.
- 侯增谦. 2004. 斑岩 Cu-Mo-Au 矿床: 新认识与新进展[J]. *地学前缘*, 11(1): 131~144.
- 侯增谦, 孟祥金, 曲晓明 等. 2005. 西藏冈底斯斑岩铜矿带埃达克质斑岩含矿性: 源岩相变及深部过程约束[J]. *矿床地质*, 24: 108~121.
- 侯增谦, 莫宣学, 高永丰 等. 2003. 埃达克岩: 斑岩铜矿的一种可能的含矿母岩——以西藏和智利斑岩铜矿为例[J]. *矿床地质*, 22(1): 1~11.
- 侯增谦, 曲晓明, 黄 卫 等. 2001. 冈底斯斑岩铜矿成矿带有望成为西藏第二条“玉龙”斑岩铜矿带[J]. *中国地质*, 28: 27~29.
- 胡瑞忠, 毕献武, Turner G 等. 1997. 马厂箐铜矿床黄铁矿流体包裹体 He-Ar 同位素体系[J]. *中国科学(D辑)*, 27(6): 503~508.
- 黎 彤, 袁怀雨, 吴胜昔. 1998. 中国花岗岩类和世界花岗岩类平均化学成分的对比如研究[J]. *大地构造与成矿学*, 22(1): 29~34.

- 梁华英, 谢应雯, 张玉泉. 2004. 富钾碱性岩体形成演化对铜矿成矿制约——以马厂箐铜矿为例[J]. 自然科学进展, 14(1):116~120.
- 刘显凡, 刘家铎, 张成江, 等. 2004. 滇西富碱斑岩型矿床岩体和矿脉同位素地球化学研究[J]. 矿物岩石地球化学通报, 23(1):32~39.
- 吕伯西, 钱祥贵. 2000. 滇西三江地区新生代碱性系列岩浆岩构造类型[J]. 云南地质, 19(3):232~243.
- 罗君烈, 李志伟. 2001. 云南中西部喜马拉雅期岩浆及成矿研究新进展[J]. 云南地质, 20(3):229~242.
- 骆耀南, 俞如龙. 2001. 龙门山-锦屏山陆内造山带喜马拉雅期构造-岩浆作用主要特征及其动力学模式[A]. 陈毓川. 喜马拉雅期内生成矿作用研究[C]. 北京: 地质出版社, 88~95.
- Mutschler F E. 1992. 与碱性岩有关的贵金属矿床[J]. 国外地质勘探技术, 6(6):38~43.
- 彭建堂, 毕献武, 胡瑞忠, 等. 2005. 滇西马厂箐斑岩铜(钼)矿床成矿时限的厘定[J]. 矿物学报, 25(1):69~74.
- 钱青. 2001. adakite的地球化学特征成因[J]. 岩石矿物学志, 20(3):297~306.
- 涂光炽, 张玉泉, 赵振华. 1984. 华南两个富碱侵入岩带的初步研究[A]. 徐克勤, 涂光炽. 花岗岩地质与成矿关系[C]. 南京: 江苏科学出版社, 21~37.
- 王登红, 屈文俊, 李志伟, 等. 2004. 金沙江-红河成矿带斑岩铜钼矿的成矿集中期: Re-Os 同位素定年[J]. 中国科学(D辑), 34(4):345~349.
- 谢应雯, 张玉泉, 涂光炽. 1984. 哀牢山-金沙江富碱侵入岩带地球化学与成矿专属性初步研究[J]. 昆明工学院院报, 4:1~7.
- 谢应雯, 张玉泉, 钟孙霖, 等. 1999. 云南洱海东部新生代高钾钙碱性岩浆岩痕量元素特征[J]. 岩石学报, 15(1):75~82.
- 杨建琨, 唐志国. 1996. 云南省新生代浅成侵入斑岩型金矿成矿特征及找矿预测[J]. 北京地质, 3:27~31.
- 杨建民, 薛春纪, 徐珏, 等. 2001. 滇西北喜马拉雅期富碱斑岩地质特征及其成矿作用[A]. 陈毓川. 喜马拉雅期内生成矿作用研究[C]. 北京: 地质出版社, 88~95.
- 赵淮. 1995. 中甸-大理-金平地区与喜马拉雅期斑岩有关的铅-铜-钼-金矿床成矿模式[J]. 云南地质, 14(4):333~341.
- 曾普胜, 侯增谦, 高永峰, 等. 2006. 印度-亚洲碰撞带东段喜马拉雅期铜-钼-金矿床 Re-Os 年龄及成矿作用[J]. 地质论评, 52(1):72~84.
- 曾普胜, 莫宣学, 喻学惠. 2002. 滇西富碱斑岩带的 Nd, Sr, Pb 同位素特征及其挤压走滑背景[J]. 岩石矿物学杂志, 21(3):231~241.
- 曾普胜, 杨伟光, 喻学惠. 1999. 滇西富碱斑岩带及其与金矿化的关系[J]. 地球学报, 20(增刊):367~372.
- 张玉泉, 谢应雯. 1997. 哀牢山-金沙江富碱侵入岩年代学和 Nd, Sr 同位素特征[J]. 中国科学(D辑), 27(4):289~293.
- 张玉泉, 谢应雯, 涂光炽. 1987. 哀牢山-金沙江富碱侵入岩及其裂谷构造关系初步研究[J]. 岩石学报(1):17~25.
- 张旗, 王焰, 刘伟, 等. 2002. 埃达克岩的特征及其意义[J]. 地质通报, 21(7):231~235.
- 张旗, 许继峰, 王焰, 等. 2004. 埃达克岩的多样性[J]. 地质通报, 23(9~10):959~965.
- 赵振华, 熊小林, 王强, 等. 2003. 我国富碱火成岩及有关的大型-超大型金铜矿床成矿作用[J]. 中国科学(D), 33(增):1~10.