

西藏尕尔穷-嘎拉勒铜金矿集区侵入岩 岩石地球化学特征及其地质意义

张 志¹ 唐菊兴² 李志军¹ 杨 毅¹ 胡正华⁴ 姚晓峰³ 宋俊龙¹ 陈 伟¹ 王红星¹ 杨欢欢¹

(1. 成都理工大学 四川成都 610059; 2. 中国地质科学院矿产资源研究所 北京 100037;

3. 中国地质大学 北京 100083; 4. 江西省地质调查研究院 江西南昌 330000)

[摘 要] 尕尔穷-嘎拉勒矿集区位于西藏班公湖-怒江成矿带西段,是该带上近年来取得重大勘查突破的矽卡岩(斑岩)型铜金矿集区,区内现已发现有尕尔穷及嘎拉勒两个矽卡岩型铜金矿床。区内侵入岩主要有 GL(嘎拉勒)花岗闪长岩、GL 花岗斑岩、GL 闪长岩、GE(尕尔穷)花岗斑岩、GE 石英闪长岩等燕山晚期中酸性侵入岩。地球化学特征显示,区内侵入岩 SiO_2 含量在 53.68%~80.78% 之间,平均值为 65.66%, Al_2O_3 含量在 8.51%~16.91% 之间, A/CNK (铝饱和指数)在 0.54~1.11 之间,表明区内侵入岩为准铝质-弱过铝质钙碱性-高钾钙碱性岩石系列;微量元素及稀土元素地球化学特征显示,区内侵入岩相对富集大离子亲石元素 Rb、Sr、Th,而亏损 Ta、Nb、Hf、Zr、Yb、Ti 等高场强元素,各岩石类型均具 Nb、Ta、Ti 负异常,其中 GE 花岗斑岩具有非常明显的亏损 Sr 和 Ti 的特征。岩石成因类型判别表明 GE 花岗斑岩为 S 型花岗岩,而其它岩类为 I 型花岗岩,结合构造环境的判别,指示矿集区侵入岩形成于班公湖-怒江特提斯洋闭合后碰撞隆升阶段。

[关键词] 尕尔穷-嘎拉勒矿集区 地球化学 班公湖-怒江带 西藏

[中图分类号] P617

[文献标识码] A

[文章编号] 0495-5331(2013)04-0676-13

Zhang Zhi, Tang Ju-xing, Li Zhi-jun, Yang Yi, Hu Zheng-hua, Yao Xiao-feng, Song Jun-long, Chen Wei, Wang Hong-xing, Yang Huan-huan. Petrology and geochemistry of intrusive rocks in the Gaerqiong-Galale ore concentration area, Tibet and their geological implications [J]. *Geology and Exploration* 2013, 49(4): 6676-6688.

班公湖-怒江缝合带大地构造位置位于羌塘-三江板块与冈底斯-念青唐古拉板块之间,是青藏高原继冈底斯成矿带后又一重要成矿带。长期以来,该成矿带的构造背景演化问题一直都是地质学界争论的焦点(王冠民等 2002; Kapp *et al.* 2003),现今对于班-怒特提斯洋存在双向俯冲的观点已基本得到认可(李光明等 2007; 康志强等 2010; 耿全如等 2011; 杜德道等 2011),该带由板块汇聚引发的构造演化过程中均有可能产生一系列从俯冲期→碰撞期→碰撞后伸展作用期的成矿作用,虽潜力十分巨大,但研究程度却十分薄弱,找矿之路任重道远。

尕尔穷-嘎拉勒矿集区位于西藏班公湖-怒江

缝合带西段南缘(图 1),是该缝合带上最为耀眼的矿业双子星之一(另外一个为多龙矿集区),也是近年来该构造带上取得重大找矿突破的唯一一个区内已勘查出矿床均已达到详查程度的矽卡岩(斑岩)型铜金矿集区。矿集区内现已发现有尕尔穷及嘎拉勒两个矿床,其金资源量均已达到大型以上规模。现今矿集区内矿床研究主要集中在矿床地质特征(唐菊兴等, 2009^①; 李志军等, 2011a; 吕丽娜等, 2011; 胡正华等, 2012)、成岩成矿时代(李志军等, 2011b; 吕丽娜等, 2011; 姚晓峰等, 2013)、金矿物特征(姚晓峰等, 2011)、矿石矿物特征及元素空间分布规律(王友 2010; 张志等, 2012)以及矽卡岩成因(宋俊龙等, 2012)等方面,而对成矿地质背景具有

【收稿日期】2012-12-23; 【修改日期】2013-03-26; 【责任编辑】郝情情。

【基金项目】国家自然科学基金项目(编号 41172077)、国家重点基础研究发展规划“973”项目(编号 2011CB403103)和国土资源部公益性行业科研专项项目(编号 201011013-3)联合资助。

【第一作者】张 志(1985 年-)男,博士研究生,现从事固体矿体普查与勘探工作。E-mail: tancer@qq.com。

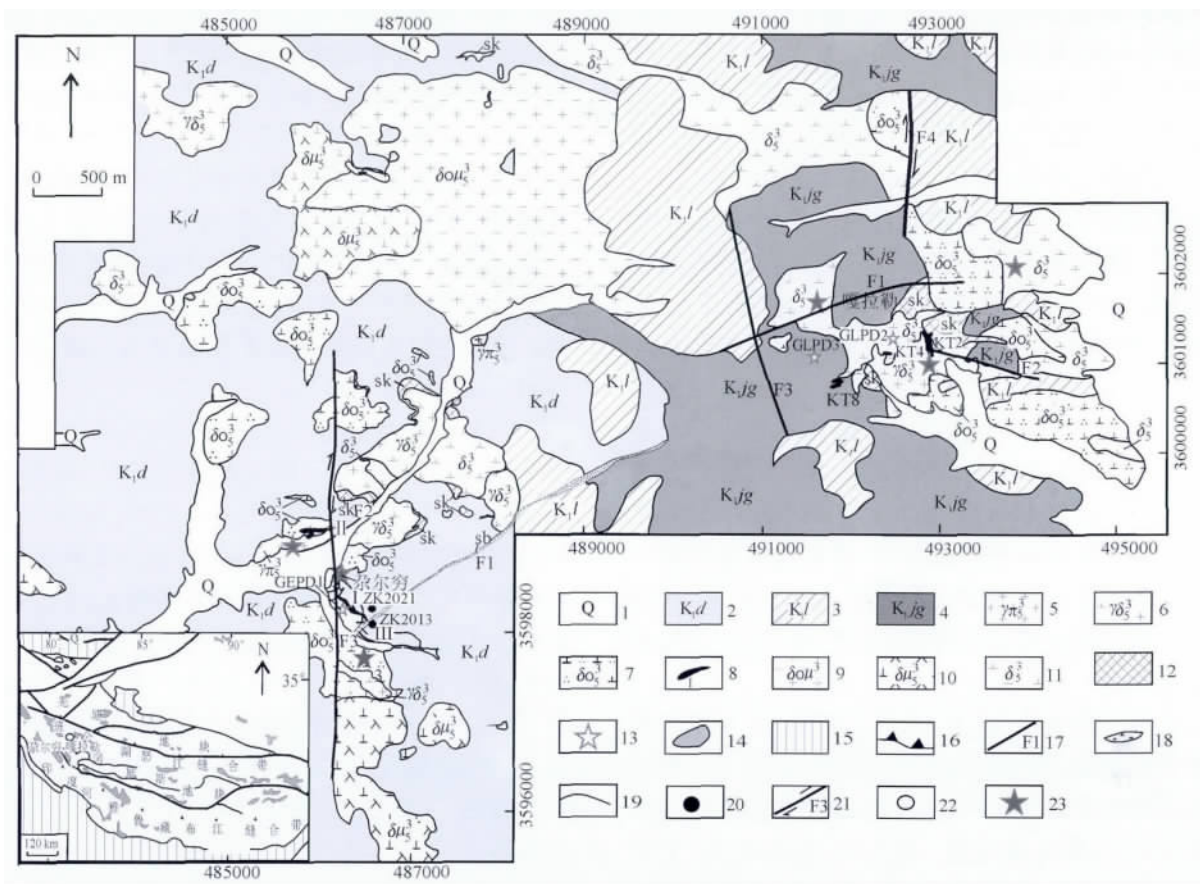


图1 尕尔穷-嘎拉勒矿集区地质简图(据唐菊兴等 2009^①; 何林等 2011^② 修编)

Fig.1 Generalized geological map of the Gerqiong - Glale Cu - Au ore concentration area
(after Tang et al. 2009^①; He et al. 2011^②)

- 1 - 第四系洪积物-坡积物; 2 - 白垩系多爱组; 3 - 白垩系朗久组; 4 - 白垩系捷嘎组; 5 - 花岗斑岩; 6 - 花岗闪长岩; 7 - 石英闪长岩; 8 - 矿体; 9 - 石英闪长玢岩; 10 - 闪长玢岩; 11 - 闪长岩; 12 - 砂卡岩; 13 - 平硐; 14 - 中酸性侵入岩; 15 - 变质基底; 16 - 板块缝合带; 17 - 不明性质断层及其编号; 18 - 破碎带; 19 - 断裂; 20 - 钻孔; 21 - 平移断层及其编号; 22 - 研究区; 23 - 采样点
- 1 - Quaternary diluvial deposit and talus; 2 - Cretaceous Duoai Formation; 3 - Cretaceous Langjiui Formation; 4 - Cretaceous Jiega Formation; 5 - granite porphyry; 6 - quartz diorite; 7 - granodiorite; 8 - orebody; 9 - quartz diorite porphyry; 10 - quartz diorite porphyry; 11 - diorite; 12 - skarn; 13 - adit; 14 - intermediate - acid intrusive rock; 15 - metamorphic basement; 16 - plate suture zone; 17 - nature - undetermined fault and number; 18 - tectonic crushed zone; 19 - fracture; 20 - drilling; 21 - strike slip fault and number; 22 - study area; 23 - sampling points

重要指示意义的岩体地球化学特征研究却仅有较为分散的研究。本文试图通过系统研究尕尔穷-嘎拉勒矿集区内侵入岩岩石地球化学特征,以期揭示矿集区内矿床成矿地质背景的同时,为矿床成因研究及矿床模式的建立奠定基础。

1 矿区地质

尕尔穷-嘎拉勒铜金矿集区位于班公湖-怒江缝合带南缘的措勤-申扎岩弧内,区内广泛发育白垩系地层及燕山期中酸性侵入岩,区内现已勘出尕尔穷与嘎拉勒两个铜金矿床(图1)。

1.1 尕尔穷铜金矿床

尕尔穷矿区出露地层较为简单,主要可见白垩系多爱组(K_1d)及第四系(Q)(图1),白垩系多爱组主要由碳酸盐岩、火山碎屑岩及陆缘碎屑岩组成,岩性包括灰岩、大理岩、火山角砾岩、凝灰岩、砂岩及角岩等。

矿区构造主要可见断裂构造及褶皱构造,以断裂构造为主。矿区共有F1(北东-南西向)、F2(北东-南西向)、F3(近南北向)三条断层,其中F1断层是对成矿有利的导矿容矿构造,矿区构造蚀变岩型铜金矿体就赋存于该断层内。

矿区岩浆岩主要为中酸性侵入岩,岩性主要是

石英闪长岩、花岗闪长岩、闪长玢岩、闪长岩、花岗斑岩、细晶岩等,其中前四类为早期侵入,后两类为晚期侵入。其中石英闪长岩与成矿关系最为密切,矿区主矽卡岩型铜金矿体赋存于石英闪长岩与大理岩或灰岩接触带矽卡岩内。姚晓峰等(2012, 2013)对矿区石英闪长岩及花岗斑岩进行了 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄测定,测得石英闪长岩加权平均年龄为 $87.1 \pm 0.4 \text{ Ma}$ (MSWD = 0.88),为早期侵入,花岗斑岩加权平均年龄为 $83.2 \pm 0.7 \text{ Ma}$ (MSWD = 0.51),为后期侵入;李志军等(2011b)对矿区辉钼矿进行了 Re-Os 年龄测定,测得其等时线年龄为 $86.87 \pm 0.50 \text{ Ma}$,与矽卡岩型矿体成矿母岩石英闪长岩成岩年龄基本一致,表明矿区成矿事件发生在晚燕山期。在岩体侵位过程中,前期侵入的石英闪长岩与碳酸盐岩接触交代形成矽卡岩型矿体,而后期侵位的花岗斑岩对前期形成的矿体具有一定的破坏作用。

矿区已勘查出 I、II、III 三个矿体, I 号主矿体为矽卡岩型铜金矿体,赋存于石英闪长岩与大理岩或灰岩接触带矽卡岩内,其形态随矽卡岩形态的变化而变化,总体走向北西-南东向,倾向北西。II 号矿体为构造蚀变岩型铜金矿体,赋存于 F1 断层破碎带内,走向北东-南西向,倾向因 F1 断层倾向多变而多变。III 号矿体总体形态为一透镜体,规模较小,赋存于石英闪长岩与大理岩的内接触带。矿区矿石矿物主要可见黄铜矿、斑铜矿、赤铁矿、辉钼矿、磁铁矿、金矿物、银矿物等,脉石矿物主要为一套钙质矽卡岩矿物。围岩蚀变主要可见矽卡岩化、绿帘石化、绿泥石化、角闪岩化、硅化及大理岩化等。

1.2 嘎拉勒铜金矿床

嘎拉勒矿区出露地层主要可见白垩系则弄群上部朗久组(K_1l)、下白垩系捷嘎组(K_1jg)及第四系残坡积物(Q)(图1)。朗久组岩性组合包括流纹质-英安质火山碎屑岩、角闪石英粗安岩等组成;捷嘎组岩性组合包括白云岩、白云质大理岩、泥晶灰岩、生物介壳灰岩及砂砾岩等组成。

矿区构造主要可见断裂构造与褶皱构造,以断裂构造为主,矿区共分布有 F1(北东-南西向)、F2(北西-南东向)、F3(北东-南西向)、F4(南北向)四条断裂,其中 F1 与 F2 断裂与矿区成矿关系较为密切,但均为对矿体具有一定破坏作用的断裂构造。

矿区岩浆岩主要可见闪长岩、花岗闪长岩、石英闪长岩及花岗斑岩,其中花岗斑岩未在地表出露。实际地质情况显示闪长岩为早期侵位、花岗闪长岩

与花岗斑岩为后期侵入。与成矿关系最为密切的为花岗闪长岩,现今勘查出的主矽卡岩型铜金矿体赋存于其与白云岩接触带矽卡岩内,最新勘查结果显示闪长岩展布区域亦有矽卡岩型铜金矿体分布,矿区是否具有两期成矿过程还有待进一步研究。吕立娜等(2011)年对矿区成矿母岩花岗闪长岩进行了 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄测定,测得其平均年龄为 $86.52 \pm 0.41 \text{ Ma}$ (MSWD = 0.51),该年龄与矿集区内尕尔穷矿区成矿年龄基本一致,表明其为同一成矿事件的产物。

截至目前为止,矿区已发现有 10 余个矿体,其中 KT2、KT4、KT8 号矿体为矿区主矿体,矿体均产于花岗闪长岩与白云岩或白云质大理岩接触带矽卡岩内,其产状多随接触带矽卡岩形态的变化而变化,主要呈似层状、层状、港湾状及不规则状产出。金属矿物主要可见磁铁矿、黄铜矿、斑铜矿、辉铜矿、兰辉铜矿、铜兰、褐铁矿、钛铁矿、赤铁矿、金矿物、银矿物等,非金属矿物主要可见橄榄石、透辉石、金云母、滑石、蛇纹石、绿泥石、绿帘石等。围岩蚀变主要可见矽卡岩化、大理岩化、硅化、绿泥石化、绿帘石化、角闪岩化等。

2 岩相学特征

矿集区内侵入岩主要为中酸性岩体,本次样品采集地点见图1,因采集地点不同,将采集于尕尔穷矿区内的样品前标“GE”,将采集于嘎拉勒矿区内的样品前标“GL”。各主要岩石类型的岩相学特征如下:

GL 花岗闪长岩:浅灰色、灰白色,中细粒等粒粒状结构,块状构造。岩石较为致密,新鲜断面较粗糙。矿物成分主要由长石($60\% \pm$)和石英($20\% \pm$),少量黑云母($10\% \pm$)及角闪石($7\% \pm$)及其他($3\% \pm$)组成,矿物粒径多为 $2 \sim 3 \text{ mm}$ 。长石风化后呈灰白色,宽板状或柱状;石英多呈烟灰色,不规则粒状,具油脂光泽;黑云母为黑色,呈鳞片状,具珍珠光泽;角闪石,黑色,多呈长柱状。可见有绿泥石化及碳酸盐化蚀变。

GL 花岗斑岩:灰白色、黄白色,斑状结构,基质微粒结构,块状构造。斑晶矿物含量占岩石的 40% 左右,主要由更长石($25\% \pm$)、石英($10\% \pm$)、黑云母($5\% \pm$)组成,钾长石少见。基质:微粒结构,主要由钾长石和石英组成,二者含量大体相当,岩石具有较强的绢云母化、碳酸盐化。

GL 闪长岩:灰色、浅灰色,中粗粒至细粒半自形

粒状结构,块状构造。主要由斜长石、角闪石、黑云母、单斜辉石及石英组成。其中斜长石含量在 55% ~ 70% 之间,角闪石含量在 15% ~ 35% 之间,单斜辉石含量在 5% ~ 10% 之间,石英较少,充填于长石粒间,分布不均匀。

GE 石英闪长岩: 灰白色、灰黑色,中粗粒至细粒半自形粒状结构,块状构造。主要矿物成分以角闪石(30% ~ 45%)、斜长石(45% ~ 60%)和石英(5% ~ 10%)为主,次要矿物为钾长石、辉石及黑云母,副矿物可见磁铁矿和钛铁矿。角闪石呈自形短柱状、半自形粒状,主要为普通角闪石,主要分布于斜长石粒间。斜长石多呈中偏细粒半自形板状,常组成偏细粒的粒状集合体充填于其他矿物粒间,也可呈细粒板状无序散布被其它矿物所包含,经测定大部分为中长石,个别具有环带结构,可见被绢云母无序交代现象。石英主要充填于长石粒间。

GE 花岗斑岩: 灰白色、浅肉红色,斑状结构,块

状构造。斑晶占 45% 左右,主要由石英(30% ±)、斜长石(10% ±)、黑云母(3% ±)组成,局部可见少量角闪石与钾长石(2% ±)。基质占 50% 左右,细粒结构或隐晶质结构,主要由钾长石、斜长石和石英组成。岩石具较强的绢云母化、碳酸盐化及硅化。

3 岩石地球化学特征

3.1 主量元素特征

矿集区内侵入岩样品主量元素分析结果见表 1,从表中可以看出,矿集区内侵入岩 SiO_2 含量总体不高,介于 53.68% ~ 80.78% 之间,平均值为 65.66%。 Na_2O 含量普遍高于 K_2O ,碱值 $\omega(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ 在 4.86% ~ 6.69% 之间,平均值为 6.24%, $\omega(\text{Na}_2\text{O})/\omega(\text{K}_2\text{O})$ 比值变化较大,在 0.26 ~ 2.89 之间,在 SiO_2 ~ K_2O 图解中样品均落入钙碱性-高钾钙碱性区域(图 2b),其中 GE 花岗斑岩样品 $\omega(\text{K}_2\text{O})$ 明显高于其他岩石,显示出高钾的特性;里特曼指数

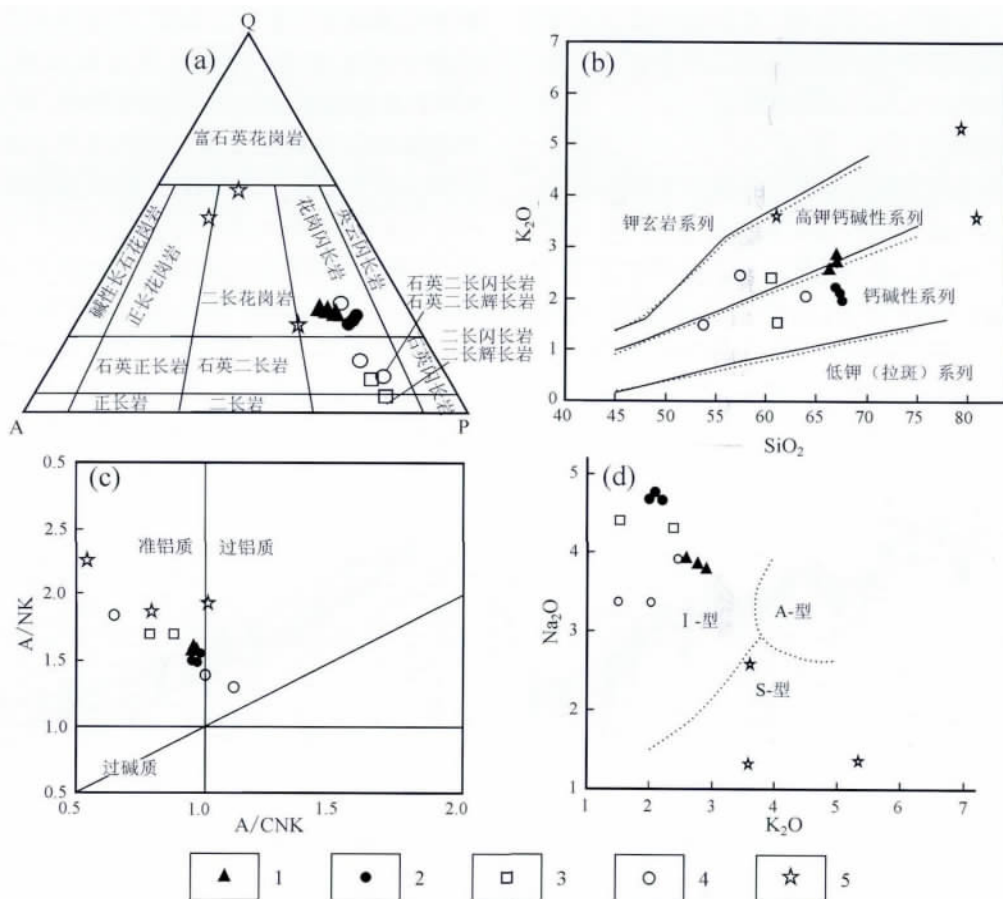


图 2 矿集区侵入岩 Q-A-P (a)、 SiO_2 - K_2O (b)、 A/CNK - A/NK (c)、 K_2O - Na_2O (d) 图解

Fig. 2 Diagrams of Q-A-P (a) SiO_2 - K_2O (b) A/CNK - A/NK (c) and K_2O - Na_2O

(d) for intrusive rocks in the ore concentration area

1 - GL 花岗闪长岩; 2 - GL 花岗斑岩; 3 - GL 闪长岩; 4 - GE 石英闪长岩; 5 - GE 花岗斑岩

1 - GL quartz diorite; 2 - GL granite porphyry; 3 - GL diorite; 4 - GE granodiorite; 5 - GE granite porphyry

在 0.64 ~ 2.81 之间,属于钙碱性岩石范畴,与投图一致。在所有样品中 Al_2O_3 含量普遍较高,在 8.51% ~ 16.91% 之间, A/CNK (铝饱和指数) 在 0.54 ~ 1.11 之间, A/NK 在 1.30 ~ 2.24 之间,属于准铝质 - 微弱过铝质系列岩石(图 2c)。综上所述,矿集区侵入岩属于准铝质 - 微弱过铝质钙碱性 - 高钾钙碱性岩石系列。

从 Q(石英) - A(碱性长石) - P(斜长石) 图解中可见(图 2a),矿集区内侵入岩属于花岗岩类侵入岩, GL 闪长岩与 GE 石英闪长岩主要落入了石英二长闪长岩区域内, GL 花岗斑岩与 GL 花岗闪长岩落入了花岗闪长岩区域内,而 GE 花岗斑岩则落入了花岗岩区域内。从表 1 中可以看出,花岗斑岩与花岗闪长岩的分异指数(DI)明显高于闪长岩与石英闪长岩,表明前者结晶分异程度高于后者,而 GE 花岗斑岩的固结指数(SI)则明显低于其他岩石类型,结合 $K_2O - Na_2O$ 判别图(图 2d)可以看出,仅 GE 花岗斑岩落入了 S 型花岗岩区域,其余岩性均落入了 I 型花岗岩区域,表明 GE 花岗斑岩与矿集区内其他侵入岩不是在同一火成期形成的。

3.2 微量元素特征

矿集区内侵入岩微量元素分析结果见表 2,从表中可以看出,GE 花岗斑岩、GL 花岗斑岩、GL 花岗闪长岩中 Rb、Cs、Ba、Th 等低场强元素及放射性元素 U 含量总体上高于 GE 石英闪长岩与 GL 闪长岩,而前者 Ta、Hf、Nb、Zr 等高场强元素含量则总体上低于后者,其余元素含量大致相当。其中 GE 花岗斑岩中

Rb、Ba、Th 等低场强元素含量明显高于其它岩性,而 Zr、Hf、Ta、Ti 等高场强元素则明显低于其它岩性。

按照原始地幔的微量元素含量对矿集区内花岗岩类分析数据进行标准化成图,从生成的微量元素蛛网图(图 3a)中发现,微量元素配分曲线呈明显的右倾型,大离子亲石元素 Rb、Sr(GE 花岗斑岩除外)、Th 等相对富集,而 Ta、Nb、Hf、Zr、Yb、Ti 等高场强元素则相对亏损,各岩石类型均具 Nb、Ta、Ti 负异常,其中 GE 花岗斑岩具有非常明显的亏损 Sr 和 Ti 的特征。

3.3 稀土元素特征

矿集区内侵入岩稀土元素分析结果见表 3,从表中可知,矿集区内花岗岩类稀土元素总量(ΣREE)较低,介于 $63.55 \times 10^{-6} \sim 186.23 \times 10^{-6}$ 之间; $(La/Yb)_N$ 介于 6.56 ~ 28.92 之间,指示轻、重稀土元素分馏较明显。通过球粒陨石标准化以后的稀土元素分配曲线图见图 3(b),从图中可知区内各岩石类型的稀土元素特征相似,均表现为右倾型,表明轻稀土元素富集,而重稀土元素亏损,与 LREE/HREE 比值结果(6.53 ~ 14.97)相符,其中轻稀土表现为相对陡倾型,而重稀土表现为相对缓倾型,表明轻稀土元素分馏程度要高于重稀土元素分馏程度。嘎拉勒矿区与尕尔穷矿区岩体具有不同的 Eu 异常特点,嘎拉勒岩体均表现出弱正铕异常,而尕尔穷岩体中石英闪长岩则表现出弱负铕异常,花岗斑岩更表现出明显的负铕异常(图 3b); δCe 介于 0.82 ~ 1.07 之间,平均值为 0.93,无明显 Ce 异常。

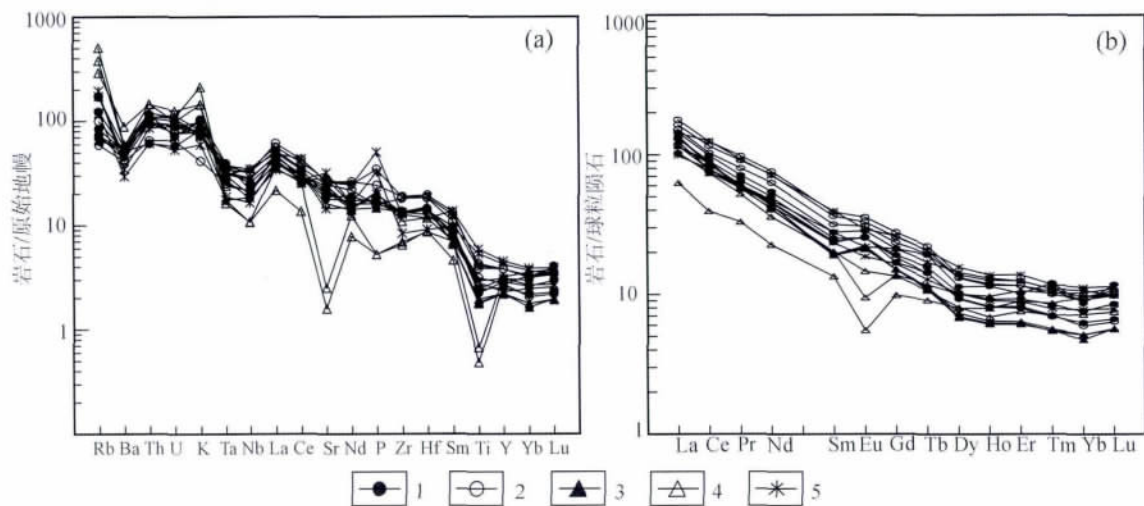


图 3 矿集区侵入岩微量元素原始地幔标准化图(a)及稀土元素球粒陨石标准化图(b)

Fig.3 Primitive mantle normalized trace element spider diagram (a) and chondrite - normalized REE - patterns (b) for intrusive rocks in the ore concentration area

1 - GL 花岗闪长岩; 2 - GL 花岗斑岩; 3 - GL 闪长岩; 4 - GE 花岗斑岩; 5 - GE 石英闪长岩

1 - GL quartz diorite; 2 - GL granite porphyry; 3 - GL diorite; 4 - GE granite porphyry; 5 - GE granodiorite

表 1 杂尔穷-嘎拉勒矿集区侵入岩主量元素(%)分析结果

| 岩性 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪岩 | GL 花岗 闪岩 | GL 花岗 闪岩 | GL 花岗 闪岩 | GL 花岗 闪岩 | GE 花岗 闪岩 | GE 花岗 闪岩 | GE 花岗 闪岩 | GE 石英 闪长岩 | GE 石英 闪长岩 | GE 石英 闪长岩 |
|--------------------------------|--------------|--------------|--------------|-------------|----------------|-------------------|-------------------|-------------------|-----------------|----------------|-----------------|------------------|-----------------|-----------------|
| 编号 | PD3-B4 | PD2-B6 | TC22-B28 | GLB004-3 | ZK42- 276.1 | ZK355- 5-102.7 | ZK355- 5-426.1 | ZK355- 5-431.3 | ZK803- 118.5 | ZK1514- 231 | ZK405- 220.4 | ZK1910- 399.7 | ZK303- 175.2 | ZK407- 221.8 |
| SiO ₂ | 66.91 | 66.96 | 66.24 | 60.49 | 61.02 | 67.28 | 66.8 | 67.49 | 60.83 | 80.78 | 79.21 | 57.39 | 53.68 | 64.03 |
| Al ₂ O ₃ | 14.83 | 14.82 | 15.05 | 16.48 | 15.11 | 15.05 | 15.12 | 15.32 | 15.06 | 8.51 | 10.43 | 16.91 | 16.04 | 14.9 |
| Fe ₂ O ₃ | 1.69 | 1.68 | 1.74 | 2.07 | 1.52 | 0.13 | 0.22 | 0.1 | 0.42 | 0.2 | 0.2 | 3 | 1.07 | 1.72 |
| FeO | 1.76 | 2.05 | 2.08 | 3.38 | 3.26 | 2.74 | 2.65 | 2.59 | 0.26 | 0.83 | 0.61 | 3.95 | 3.32 | 2.33 |
| MgO | 2.06 | 1.95 | 2.14 | 2.85 | 4.21 | 1.67 | 1.76 | 1.52 | 0.36 | 0.35 | 0.22 | 3.12 | 5.06 | 2.57 |
| CaO | 3.31 | 3.47 | 3.57 | 5 | 5.72 | 3.02 | 3.22 | 3.17 | 8.35 | 1.35 | 0.76 | 6.71 | 12.44 | 3.89 |
| Na ₂ O | 3.87 | 3.8 | 3.94 | 4.31 | 4.4 | 4.77 | 4.67 | 4.69 | 2.59 | 1.33 | 1.37 | 3.91 | 3.37 | 3.36 |
| K ₂ O | 2.74 | 2.89 | 2.58 | 2.39 | 1.53 | 2.08 | 2.21 | 2 | 3.63 | 3.6 | 5.32 | 2.45 | 1.49 | 2.04 |
| TiO ₂ | 0.52 | 0.56 | 0.56 | 0.96 | 0.82 | 0.44 | 0.45 | 0.42 | 0.63 | 0.16 | 0.12 | 1.29 | 1.11 | 0.63 |
| MnO | 0.06 | 0.07 | 0.07 | 0.1 | 0.08 | 0.06 | 0.05 | 0.04 | 0.04 | 0.06 | 0.05 | 0.13 | 0.13 | 0.05 |
| P ₂ O ₅ | 0.15 | 0.17 | 0.17 | 0.33 | 0.23 | 0.15 | 0.15 | 0.14 | 0.2 | 0.05 | 0.05 | 0.48 | 0.31 | 0.19 |
| LOI | 1.54 | 1.03 | 1.26 | 1.05 | 1.43 | 1.97 | 2.16 | 2.18 | 7.43 | 1.69 | 0.87 | 0.65 | 1.21 | 3.33 |
| A/CNK | 0.97 | 0.94 | 0.96 | 0.88 | 0.78 | 0.97 | 0.95 | 0.98 | 0.64 | 1 | 1.11 | 0.79 | 0.54 | 1.01 |
| A/NK | 1.59 | 1.58 | 1.62 | 1.7 | 1.7 | 1.49 | 1.5 | 1.55 | 1.84 | 1.4 | 1.3 | 1.86 | 2.24 | 1.93 |
| δ | 1.8 | 1.85 | 1.8 | 2.51 | 1.9 | 1.89 | 1.95 | 1.79 | 1.98 | 0.64 | 1.23 | 2.77 | 2.09 | 1.33 |
| DI | 74.28 | 73.9 | 72.49 | 63.35 | 59.74 | 75.8 | 75.11 | 75.46 | 67.12 | 90.49 | 93.26 | 56.12 | 39.15 | 67.58 |
| SI | 16.99 | 15.76 | 17.16 | 19.01 | 28.23 | 14.66 | 15.28 | 13.96 | 4.97 | 5.55 | 2.85 | 18.99 | 35.36 | 21.38 |
| 来源 | 本文 | 本文 | 本文 | 本文 | 本文 | 本文 | 本文 | 本文 | ★ | ★ | ★ | ★ | ★ | ★ |

注:“★”资料来源据邓世林等,2011。本文数据测试单位:西南冶金地质测试所。

表 2 2 号矿集区侵入岩微量元素分析结果 ($\times 10^{-6}$)

| 岩性 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL 花岗 闪长岩 | GL |
|----|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|----|
|----|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|----|

注:“★”资料来源据邓世林等,2011。本文数据测试单位:西南冶金地质测试所。分析方法:质谱法(ICP-MS)。

Table 3 REE for intrusions of the Gerqiong - Glale ore concentration area ($\times 10^{-6}$)

| 岩性 | GL 花岗岩 闪长岩 | GL 花岗岩 闪长岩 | GL 花岗岩 闪长岩 | GL 花岗岩 闪长岩 | GL 花岗岩 闪长岩 | GL 花岗岩 闪长岩 | GL 花岗岩 闪长岩 | GL 花岗岩 闪长岩 | GE 花岗 斑岩 | GE 花岗 斑岩 | GE 花岗 斑岩 | GE 花岗 斑岩 | GE 石英 闪长岩 | GE 石英 闪长岩 | GE 石英 闪长岩 |
|----------------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------|-------------|--------------|--------------|--------------|
| 编号 | PD2-B5 | TC22-B23 | PD3-B3 | GILB004-1 | GLB004-2 | ZK42-289 | ZK48-135-1 | ZK355- 5-182.8 | ZK355- 5-262.7 | ZK355- 5-362.7 | 803-118.5 | 1514-231 | 405-220.4 | 1910-399.7 | 303-175.2 |
| La | 34.192 | 30.918 | 24.321 | 38.813 | 42.154 | 27.524 | 35.952 | 29.5385 | 32.494 | 31.551 | 27.3 | 24.5 | 14.9 | 33.8 | 23.4 |
| Ce | 60.599 | 55.168 | 45.8995 | 70.653 | 76.184 | 48.041 | 63.092 | 48.2345 | 51.934 | 52.037 | 54.6 | 45.1 | 24.1 | 76.8 | 48.3 |
| Pr | 6.756 | 6.2 | 5.4285 | 8.613 | 9.304 | 5.552 | 7.6 | 5.3945 | 5.78 | 5.639 | 5.52 | 4.96 | 3.13 | 8.8 | 5.72 |
| Nd | 25.419 | 23.283 | 21.15 | 33.583 | 35.575 | 21.549 | 29.459 | 19.2985 | 20.324 | 20.303 | 19 | 16.8 | 10.6 | 33.2 | 22.1 |
| Sm | 4.265 | 3.85 | 3.6025 | 5.552 | 5.925 | 3.674 | 4.839 | 2.9115 | 2.922 | 2.962 | 3.1 | 3.1 | 2.06 | 6.04 | 4.26 |
| Eu | 1.654 | 1.469 | 1.496 | 1.907 | 2.071 | 1.474 | 1.781 | 1.2225 | 1.245 | 1.286 | 0.85 | 0.55 | 0.32 | 1.7 | 1.27 |
| Gd | 4.348 | 3.925 | 3.4675 | 5.28 | 5.709 | 3.76 | 4.805 | 3.1155 | 3.085 | 3.096 | 2.77 | 2.82 | 2.03 | 5.36 | 4.35 |
| Tb | 0.72 | 0.588 | 0.536 | 0.775 | 0.833 | 0.534 | 0.732 | 0.424 | 0.407 | 0.416 | 0.4 | 0.44 | 0.34 | 0.77 | 0.64 |
| Dy | 2.891 | 2.607 | 2.3545 | 3.379 | 3.527 | 2.391 | 3.335 | 1.8635 | 1.723 | 1.765 | 2.05 | 2.56 | 2.02 | 4 | 3.67 |
| Ho | 0.649 | 0.523 | 0.459 | 0.674 | 0.714 | 0.464 | 0.659 | 0.365 | 0.346 | 0.353 | 0.39 | 0.55 | 0.45 | 0.78 | 0.74 |
| Er | 1.676 | 1.543 | 1.315 | 1.911 | 2.07 | 1.353 | 1.914 | 1.056 | 1.008 | 1.023 | 1.25 | 1.76 | 1.48 | 2.29 | 2.06 |
| Tm | 0.307 | 0.214 | 0.176 | 0.268 | 0.278 | 0.18 | 0.255 | 0.144 | 0.14 | 0.139 | 0.18 | 0.26 | 0.22 | 0.3 | 0.28 |
| Yb | 1.471 | 1.287 | 1.0715 | 1.56 | 1.629 | 1.011 | 1.554 | 0.8765 | 0.806 | 0.873 | 1.22 | 1.75 | 1.63 | 1.91 | 1.82 |
| Lu | 0.299 | 0.218 | 0.1695 | 0.249 | 0.257 | 0.162 | 0.257 | 0.144 | 0.145 | 0.143 | 0.19 | 0.28 | 0.27 | 0.29 | 0.25 |
| LREE | 132.89 | 120.89 | 101.90 | 159.12 | 171.21 | 107.81 | 142.72 | 106.60 | 114.70 | 113.78 | 110.37 | 95.01 | 55.11 | 160.34 | 105.05 |
| HREE | 12.36 | 10.91 | 9.55 | 14.10 | 15.02 | 9.86 | 13.51 | 7.99 | 7.66 | 7.81 | 8.45 | 10.42 | 8.44 | 15.7 | 13.81 |
| ΣREE | 145.25 | 131.79 | 111.45 | 173.22 | 186.23 | 117.67 | 156.23 | 114.59 | 122.36 | 121.59 | 118.82 | 105.43 | 63.55 | 176.04 | 118.86 |
| LREE/HREE | 10.75 | 11.09 | 10.67 | 11.29 | 11.40 | 10.94 | 10.56 | 13.34 | 14.97 | 14.57 | 13.06 | 9.12 | 6.53 | 10.21 | 7.61 |
| δEu | 1.16 | 1.14 | 1.28 | 1.06 | 1.07 | 1.20 | 1.12 | 1.23 | 1.26 | 1.29 | 0.87 | 0.56 | 0.47 | 0.89 | 0.93 |
| δCe | 0.92 | 0.92 | 0.94 | 0.91 | 0.90 | 0.90 | 0.89 | 0.87 | 0.86 | 0.88 | 1.03 | 0.95 | 0.82 | 1.07 | 0.99 |
| La _N /Yb _N | 16.67 | 17.23 | 16.28 | 17.85 | 18.56 | 19.53 | 16.59 | 24.17 | 28.92 | 25.92 | 16.05 | 10.04 | 6.56 | 12.69 | 9.22 |
| 来源 | 本文 | 本文 | 本文 | 本文 | 本文 | 本文 | 本文 | 本文 | 本文 | 本文 | ★ | ★ | ★ | ★ | ★ |

注:“★”资料来源据邓世林等,2011。本文数据测试单位:西南冶金地质测试所。分析方法:质谱法(ICP-MS)。

4 讨论

4.1 成因及其类型

在矿集区各类侵入岩体中,GE 花岗斑岩除外,其余岩体 Sr 含量均非常高,Y 与 Yb 含量均较低,Sr/Y 在 21.7 ~ 50.9 之间, $\omega(\text{Al}_2\text{O}_3)$ 在 14.8% ~ 16.9% 之间, N_2O 含量普遍高于 K_2O ,显示出埃达克岩地球化学特征(Defant *et al.*, 1990; 王焰等, 2000),那么是什么类型的埃达克岩呢? 姚晓峰等(2012)对 GE 石英闪长岩进行了锆石 Hf 同位素研究,认为石英闪长岩起源于具有幔源印记的初生地壳,明显不同于俯冲背景下的洋板片熔融。曲晓明等(2009)与吕立娜等(2012)分别对 GE 石英闪长岩与 GL 花岗闪长岩进行了 Sr 同位素研究,结果表明二者 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值均大于 0.705,而 $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ 比值在 0.5119 ~ 0.5126 之间,该同位素特征有别于与俯冲有关的埃达克岩地球化学特征,而与陆内底侵型埃达克岩特征吻合(王强等, 2001),因此,矿集区埃达克岩应是班公湖-怒江结合带碰撞缝合后造山过程中玄武质物质底侵幔-壳边界致使上地幔-下地壳部分熔融所形成的 C 型埃达克岩(张旗等, 2001)。需要提出的是,GE 花岗斑岩并不满足埃达克岩的地球化学性质,在 La/Sm-La 图解中(图 4),GE 花岗斑岩近水平排列,而其他岩性则呈倾斜排列,表明 GE 花岗斑岩并非部分熔融而成,而是岩浆结晶分异的产物,且其 Sr 表现为明显亏损, δEu 表现为明显负异常,明显的出壳源特征,其分异指数明显较高,指示其为岩浆结晶高分异而成。

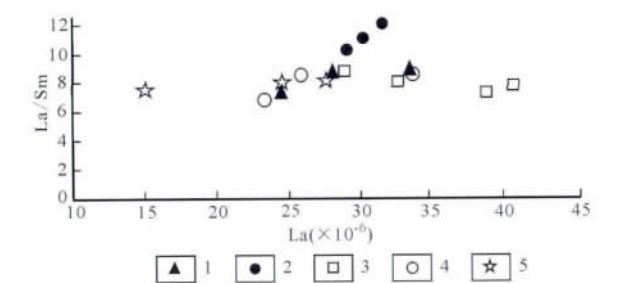


图 4 矿集区侵入岩 La-La/Sm 图解

Fig. 4 La-La/Sm diagram of intrusive rocks in the ore concentration area

1 - GL 花岗闪长岩; 2 - GL 花岗斑岩; 3 - GL 闪长岩; 4 - GE 石英闪长岩; 5 - GE 花岗斑岩

1 - GL quartz diorite; 2 - GL granite porphyry; 3 - GL diorite; 4 - GE granodiorite; 5 - GE granite porphyry

然而,埃达克岩是否能作为一种新的岩石“成

因类型”尚存在很大的争论,本文暂不将其作为“成因类型”而划分,仅仅用其对地球化学特征的约束与指示。现今对于岩石成因类型的判定具有多种方法,Chappell 等(1974; 1992)提出应用 A/CNK(铝饱和指数)可以判定岩石的成因类型,当 $A/CNK \geq 1.1$ 时为 S 型花岗岩, $A/CNK < 1.1$ 时为 I 型花岗岩。另外,利用 Harker 图解中主量元素与微量元素相互间的相关关系也可以判断岩石成因类型(Chappell, 1992; Li *et al.*, 2007; 朱弟成等, 2009),表现为 $\omega(\text{P}_2\text{O}_5)$ 与 $\omega(\text{SiO}_2)$ 负相关为 I 型演化趋势,正相关为 S 型演化趋势,而 $\omega(\text{Pb})$ 与 $\omega(\text{SiO}_2)$ 、 $\omega(\text{Y})$ 与 $\omega(\text{Rb})$ 、 $\omega(\text{Th})$ 与 $\omega(\text{Rb})$ 正相关为 I 型演化趋势,而负相关为 S 型演化趋势。再次,利用 $\omega(\text{K}_2\text{O}) - \omega(\text{N}_2\text{O})$ 判别图解也可以判别岩石的 I-S-A 成因类型。本文岩石类型较多,单一判别方法难免出现判别失误,因此,本文综合考虑几种方法,以使判别效果最为理想。

从表 2 中可以看出,绝大部分样品的 A/CNK 值均小于 1.1,体现出 I 型花岗岩的特性,而在 GE 花岗斑岩样品中一个样品 A/CNK 值大于 1.1,另外两个样品则小于 1.1,只能判别其可能具有 S 型花岗斑岩的特性。在区内侵入岩 Harker 图解中,GE 石英闪长岩、GL 花岗斑岩、GL 花岗闪长岩、GL 闪长岩 $\omega(\text{P}_2\text{O}_5)$ 与 $\omega(\text{SiO}_2)$ 负相关(图 5a), $\omega(\text{Y})$ 与 $\omega(\text{Rb})$ (图 5e)、 $\omega(\text{Th})$ 与 $\omega(\text{Rb})$ (图 5f)正相关,显示出 I 型花岗岩特征,而 GE 花岗斑岩 $\omega(\text{P}_2\text{O}_5)$ 与 $\omega(\text{SiO}_2)$ 正相关(图 5a), $\omega(\text{Y})$ 与 $\omega(\text{Rb})$ 负相关(图 5e),显示出 S 型花岗岩特征。在 $\omega(\text{K}_2\text{O}) - \omega(\text{N}_2\text{O})$ 判别图解中(图 2d),GE 石英闪长岩、GL 花岗斑岩、GL 花岗闪长岩、GL 闪长岩均很截然的落入了 I 型花岗岩区域,而 GE 花岗斑岩则较截然的落入了 S 型花岗岩区域,仅一个 S 型花岗岩样品落入靠近 I 型花岗岩的位置。综上所述,矿集区内花岗岩类岩石中 GE 石英闪长岩、GL 花岗斑岩、GL 花岗闪长岩、GL 闪长岩属于 I 型花岗岩,而 GE 花岗斑岩则属于 S 型花岗岩。纵所周知, S 型花岗岩为壳源岩熔融或结晶而成,而 I 型花岗岩为幔源或壳幔混源岩熔融而成,因此,上述成因类型的判别与矿区岩体埃达克岩与非埃达克岩地球化学性质及所指示的源区是吻合的。

4.2 大地构造背景的指示

矿集区内侵入岩 Ta、Nb、Ti、Ba 均呈明显的负异常,指示其为与俯冲作用有关的火成岩特征(Turner *et al.*, 1996; Condie, 2001),在 $(\text{Yb} + \text{Nb}) -$

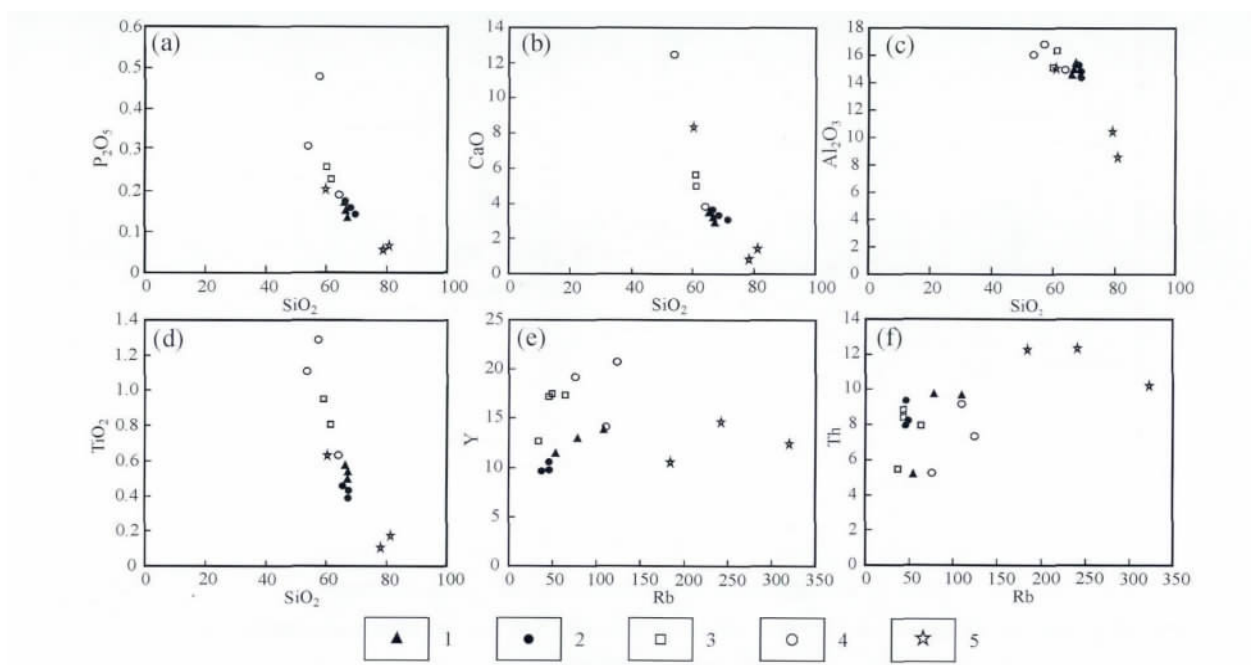


图5 矿集区侵入岩 Harker 图解

Fig. 5 Harker diagrams of intrusive rocks in the ore concentration area

1 - GL 花岗闪长岩; 2 - GL 花岗斑岩; 3 - GL 闪长岩; 4 - GE 石英闪长岩; 5 - GE 花岗斑岩

1 - GL quartz diorite; 2 - GL granite porphyry; 3 - GL diorite; 4 - GE granodiorite; 5 - GE granite porphyry

Rb 判别图解中(图 6a), GE 花岗斑岩落入了同碰撞花岗岩区域, 而其它岩性则落入了岛弧花岗岩区域, 那么, 上述特征是否表明区内侵入岩(GE 花岗斑岩除外) 为与俯冲作用有关的岛弧产出环境呢(邓世林等 2011; 雷传扬等 2012)? 研究发现, 不尽其然, GE 石英闪长岩年龄为 87.1 Ma, 为早期侵入, GE 花岗斑岩为 83.2 ± 0.7 Ma(姚晓峰等 2012), 为后期侵入, 在 4 Ma 不到的时间里完成了从俯冲至碰撞的过程似乎可能性很小, 且还夹杂有分析技术所导致的误差因素, 时间可能更短。在前文中已经提及, GE 花岗斑岩除外, 其余岩体具有埃达克岩地球化学特征, 且为板块碰撞引起的地壳增厚过程中玄武质物质底侵所引起的上地幔或下地壳部分熔融而成, 其与俯冲无关。此外, 里特曼-戈蒂里图解中全部样品均落入了造山带火山岩区域(图 6b), 显示碰撞造山环境, 区内成矿时代为 86 ~ 87 Ma(李志军等, 2011b; 吕丽娜等 2011), 这与耿全如等(2011) 的所提出的班公湖-怒江结合带晚白垩世方缝合碰撞的结论是一致的。

那么如何解释区内大部分岩体的弧岩浆特征呢? 莫宣学等(2003) 通过对印度-亚洲主碰撞过程中火成岩岩石地球化学的研究, 指出碰撞隆升阶段的花岗岩类岩石地球化学特征也具有岛弧环境产

出的花岗岩类地球化学特征, 这可能是俯冲阶段的滞后所引起的, 但已不属于岛弧环境的产物, 尕尔穷-嘎拉勒矿集区内大部分侵入岩体就是此类花岗岩的典型代表。

综上所述, 尕尔穷-嘎拉勒矿集区内侵入岩产于班公湖-怒江特提斯洋构造演化过程中的碰撞隆升阶段。

5 结论

(1) 尕尔穷-嘎拉勒矿集区内侵入岩主要有 GE 石英闪长岩、GE 花岗斑岩、GL 花岗闪长岩、GL 闪长岩、GL 花岗斑岩, 属于准铝质-弱过铝质钙碱性-高钾钙碱性岩石系列。成因类型综合判别显示 GE 花岗斑岩为 S 型花岗岩, 其它岩类为 I 型花岗岩。

(2) 矿集区内所有岩性稀土元素地球化学特征均较为相似, 表现为富集轻稀土而亏损重稀土的右倾型, 其中 GE 花岗斑岩具有较为明显负铕异常, 其它岩性则表现为弱负铕异常或正铕异常; 微量元素地球化学特征显示具有大离子亲石元素 Rb、Sr(GE 花岗斑岩除外)、Th 等相对富集, 而 Ta、Nb、Hf、Zr、Yb、Ti 等高场强元素则相对亏损的特征, GE 花岗斑

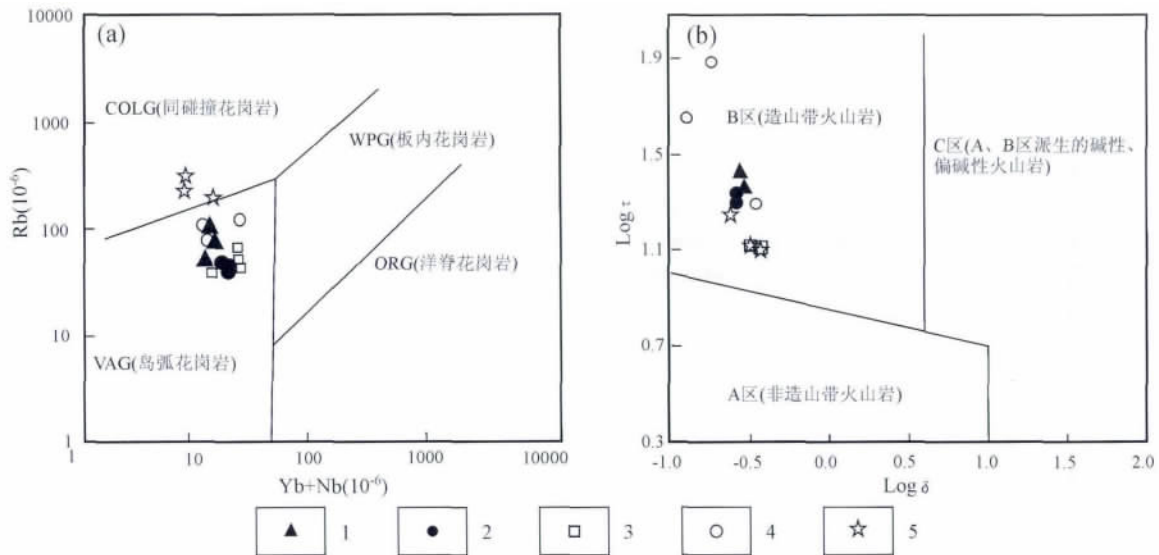


图6 矿集区侵入岩 Yb + Nb - Rb (a)、Log δ - Log τ (b) 图解

Fig. 6 Diagrams of Yb + Nb - Rb (a) and Log δ - Log τ for intrusive rocks intrusive in the ore concentration area

1 - GL 花岗闪长岩; 2 - GL 花岗斑岩; 3 - GL 闪长岩; 4 - GE 石英闪长岩; 5 - GE 花岗斑岩

1 - GL quartz diorite; 2 - GL granite porphyry; 3 - GL diorite; 4 - GE granodiorite; 5 - GE granite porphyry

岩尤其亏损 Sr 和 Ti。

(3) 矿集区内侵入岩产于班公湖 - 怒江特提斯洋构造演化过程中的碰撞隆升阶段。

致谢 感谢西藏卓朗基矿业投资有限公司对笔者野外及室内工作的大力支持。

[注释]

- ① 唐菊兴,李志军,刘文周. 2009. 西藏自治区革吉县尕尔穷铜矿详查报告[R].
- ② 何林华,康,谭扬康. 2011. 西藏自治区革吉县嘎拉勒矿区铜金矿详查报告[R].

[References]

- Chppell B W, White A J R. 1974. Two contrasting granite types [J]. Pacific Geology 8: 173 - 174
- Chppell B W, WHITE A J R. 1992. I- and S-type granites in the Lachlan Fold Belt [J]. Transactions of the Royal Society of Edinburgh: Earth Sciences 83(1-2): 1 - 26
- Condie K C. 2001. Mantle plumes and their record in earth history [M]. London: Cambridge University Press: 1 - 283
- Defant M J, Drummond M S. 1990. Derivation of some modern arc magmas by melting of young subducted lithosphere [J]. Nature, 347: 662 - 665
- Deng Shi-lin, Tang Ju-xing, Li Zhi-jun, Yao Xiao-feng, Wang You. 2011. Geochemical characteristics of rock mass in the Gaerqiong Cu-Au deposit, Tibet [J]. Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition) 38(1): 85 - 91 (in Chinese with English abstract)
- Du De-dao, Qu Xiao-ming, Wang Gen-hou, Xin Hong-bo, Liu Zhi-bo. 2011. Bidirectional subduction of the Middle Tethys oceanic basin

in the west segment of Bangonghu-Nujiang suture, Tibet: Evidence from zircon U-Pb LAICPMS dating and petrogeochemistry of arc granites [J]. Acta Petrologica Sinica, 27(07): 1993 - 2002 (in Chinese with English abstract)

- Geng Quan-ru, Pan Gui-tang, Wang Li-quan, Peng Zhi-min, Zhang Zhang. 2011. Tethyan evolution and metallogenic geological background of the Bangong Co-Nujiang belt and the Qiangtang massif in Tibet [J]. Geological Bulletin of China 30(80): 1261 - 1274 (in Chinese with English abstract)
- Hu Zheng-hua, Tang Ju-xing, Li Zhi-jun, Ding Feng, Yao Xiao-feng, Deng Shi-lin, Zhang Zhi, Wang Yi-yun, Wang Hong-xing, Song Jun-long, Chen Wei. 2012. Geological characteristics and genetic significance of Cu-Au deposits of Gaer-qiong in Geji county, Tibet [J]. Acta Geoscientica Sinica 33(4): 588 - 600 (in Chinese with English abstract)
- Kapp P., M. A. Murphy, A. Yin, T. M. Harrison, L. Ding, J. Guo. 2003. Mesozoic and Cenozoic tectonic evolution of the Shiquanhe area of western Tibet [J]. Tectonics 22(4): 3 - 1 - 3 - 23
- Kang Zhi-qiang, Xu Ji-feng, Wang Bao-di, Chen Jian-lin. 2010. Qushenla Formation volcanic rocks in north Lhasa block: Products of Bangong Co-Nujiang Tethys' southward subduction [J]. Acta Petrologica Sinica 26(10): 3106 - 3116 (in Chinese with English abstract)
- Li X H, Li Z X, Li W X, Liu Y, Yuan C, Wei G J, Qi C S. 2007. U-Pb zircon geochemical and Sr-Nd-Hf isotopic constraints on age and origin of Jurassic I- and A type granites from central Guangdong SE China: A major igneous event in response to foundering of a subducted flat-slab [J]. Lithos 96(1-2): 186 - 204
- Li Guang-ming, Li Jin-xiang, Qin Ke-zhang, Zhang Tian-ping, Xiao Bo. 2007. High temperature, salinity and strong oxidation ore-forming

- fluid at Duobuza gold-rich porphyry copper deposit in the Bangonghu tectonic belt, Tibet: Evidence from fluid inclusions [J]. *Acta Petrologica Sinica* 23(5): 935–952 (in Chinese with English abstract)
- Li Zhi-jun, Tang Ju-xing, Yao Xiao-feng, Duo Ji, Liu Hong-fei, Deng Shi-lin, Zhang Zhi, Zhang Jin-shu, Hu Zheng-hua. 2011a. Geological characteristics and prospecting potential of Gaerqiong copper-gold polymetallic deposit in Ali District, northern Tibet [J]. *Mineral Deposit* 30(6): 1149–1153 (in Chinese with English abstract)
- Li Zhi-jun, Tang Ju-xing, Yao Xiao-feng, Deng Shi-lin, Wang You. 2011b. Re-Os isotope age and geological significance of molybdenite in the Gaerqiong Cu-Au deposit of Geji, Tibet, China [J]. *Journal of Chengdu University of Technology* 38(6): 678–683 (in Chinese with English abstract)
- Lei Chuan-yang, Li Zhi-jun, Zhang Zhi, Hu Zheng-hua, Wang Hong-xing, Song Jun-long. 2012. Geochemical characteristics and geodynamic significance of the granites in the Ga'erqiong Cu-Au deposit, Tibet [J]. *Acta Geoscientica Sinica* 33(4): 601–612 (in Chinese with English abstract)
- Lv Li-na, Cui Yu-bin, Song Liang, Zhao Yuan-yi, Qu Xiao-ming, Wang Jiang-peng. 2011. Geochemical characteristics and zircon LA-ICP-MS U-Pb dating of Glale skarn gold (copper) deposit, Tibet and its significance [J]. *Earth Science Frontiers* 18(5): 224–242 (in Chinese with English abstract)
- LV Li-na. 2012. Metallogenic model of rich iron and copper (gold) deposit in western part of Bangong Co-Nujiang metallogenic belt, Tibet [D]. Beijing: Chinese Academy of Geological Sciences: 1–217 (in Chinese with English abstract)
- Mo Xuan-xue, Zhao Zhi-dan, Deng Jin-fu, Dong Guo-chen, Zhou Su, Guo Tie-ying, Zhang Shuang-quan, Wang Liang-jiang. 2003. Response of volcanism to the India-Asia collision [J]. *Earth Science Frontiers* 10(3): 135–148 (in Chinese with English abstract)
- Qu Xiao-ming, Wang Rui-jiang, Xin Hong-bo, Zhao Yuan-yi, Fan Xing-tao. 2009. Geochronology and geochemistry of igneous rocks related to the subduction of the Tethys oceanic plate along the Bangong Lake arc zone, the western Tibetan Plateau [J]. *Geochimica* 38(6): 523–535. (in Chinese with English abstract)
- Song Jun-long, Li Zhi-jun, Yao Xiao-feng, Deng Shi-lin, Zhang Zhi, Hu Zheng-hua, Lei Chuan-yang, Wang Hong-xing. 2012. Characteristics and the genetic significance of skarn in the Gaerqiong Cu-Au deposit, Geji County, Tibet [J]. *Acta Geoscientica Sinica* 33(4): 703–712 (in Chinese with English abstract)
- Turner S, Arnaud N, Liu J. 1996. Post-collisional shoshonitic volcanism on the Tibetan Plateau: Implications for convective thinning of the lithosphere and the source of ocean island basalts [J]. *Petrology* 37(1): 45–71
- Wang Yan, Zhang Qi, Qian Qing. 2000. Adakite: geochemical characteristics and tectonic significances [J]. *Scientia Geologica Sinica* 35(2): 251–256 (in Chinese with English abstract)
- Wang Qiang, Xu Ji-feng, Zhao Zhen-hua. 2001. The summary and comment on research on a new kind of igneous rock-adakite [J]. *Advances in Earth Science* 16(2): 201–208 (in Chinese with English abstract)
- Wang Guan-min, Zhong Jian-hua. 2002. Tectonic-sedimentary Evolution of the West Segment of the Bangong Co-Nujiang Structural Belt in the Triassic and Jurassic [J]. *Geological Review* 48(3): 297–303. (in Chinese with English abstract)
- Wang You. 2010. Study on Ore Characteristic of Garjoan Copper-gold Deposit, Gejue County, Tibet (dissertation for Master degree) [D]. Chengdu: Chengdu University of Technology: 1–81 (in Chinese with English abstract)
- Yao Xiao-feng, Tang Ju-xing, Wang You, Li Zhi-jun, Deng Shi-lin. 2011. The study of the characteristics of gold minerals in Gaerqiong copper-gold deposit, Tibet [J]. *Geology and Exploration* 47(6): 1018–1025 (in Chinese with English abstract)
- Yao Xiao-feng, Tang Ju-xing, Li Zhi-jun, Deng Shi-lin, Ding Shuai, Hu Zheng-hua, Zhang Zhi. 2012. Magma origin of two plutons from Gaerqiong copper-gold deposit and its geological significance, western Bangonghu-Nujiang metallogenic belt, Tibet—Implication from Hf isotope characteristics [J]. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)* 42(2): 188–197 (in Chinese with English abstract)
- Yao Xiao-feng, Tang Ju-xing, Li Zhi-jun, Deng Shi-lin, Ding Shuai, Hu Zheng-hua, Zhang Zhi. 2013. The redefinition of the ore-forming porphyry's age in Gaerqiong skarn-type gold-copper deposit, Western Bangonghu-Nujiang metallogenic belt, Tibet [J]. *Geological Review* 59(1): 193–201 (in Chinese with English abstract)
- Zhang Qi, Wang Yan, Qian Qing, Yang Jin-hui, Wang Yuan-long, Zhao Tai-ping, Guo Guang-jun. 2001. The characteristics and tectonic-metallogenic significances of the adakites in Yanshan period from eastern China [J]. *Acta Petrologica Sinica* 17(2): 236–244 (in Chinese with English abstract)
- Zhang Zhi, Tang Ju-xing, Yang Yi, Li Zhi-jun, Yao Xiao-feng, Deng Shi-lin, Wang Hong-xing, Song Jun-long. 2012. Element spatial distribution of the Gaerqiong copper-gold deposit in Tibet and its geochemical exploration model [J]. *Acta Geoscientica Sinica* 33(4): 663–672 (in Chinese with English abstract)
- Zhu Di-cheng, Mo Xuan-xue, Wang Li-quan, Zhao Zhi-dan, Niu Yao-lin, Zhou Chang-yong, Yang Yue-heng. 2009. Petrogenesis of highly fractionated T-type granites in the Chayu area of eastern Gangdese, Tibet: Constraints from zircon U-Pb geochronology, geochemistry and Sr-Nd-Hf isotopes [J]. *Sci China D-Earth Sci* 39(7): 833–848 (in Chinese with English abstract)

[附中文参考文献]

- 邓世林, 唐菊兴, 李志军, 姚晓峰, 钟预锋. 2011. 西藏尔穷铜金矿床岩体地球化学特征 [J]. *成都理工大学学报 (自然科学版)*, 38(1): 85–91
- 杜道德, 曲晓明, 王根厚, 辛洪波, 刘治博. 2011. 西藏班公湖-怒江缝合带西段中特提斯洋盆的双向俯冲: 来自岛弧型花岗岩锆石 U-Pb 年龄和元素地球化学的证据 [J]. *岩石学报* 27(7): 1994–2002
- 耿全如, 潘桂棠, 王立全, 彭智敏, 张 璋. 2011. 班公湖-怒江带、羌塘地块特提斯演化与成矿地质背景 [J]. *地质通报* 30(8): 1261–1274
- 胡正华, 唐菊兴, 李志军, 丁 枫, 姚晓峰, 邓世林, 张 志, 王艺云, 王红星, 宋俊龙, 陈 伟. 2012. 西藏革吉县尔穷铜金矿床地质

- 特征及其成因意义[J]. 地球学报 33(4): 588-600
- 康志强, 许继峰, 王保第, 陈建林. 2010. 拉萨地块北部去申拉组火山岩: 班公湖-怒江特提斯洋南向俯冲的产物[J]. 岩石学报 26(10): 3106-3116
- 李光明, 李金祥, 秦克章, 张天平, 肖波. 2007. 西藏班公湖带多不杂超大型富金斑岩铜矿的高温高盐高氧化成矿流体-流体包裹体证据[J]. 岩石学报 23(5): 935-952
- 李志军, 唐菊兴, 姚晓峰, 多吉, 刘鸿飞, 邓世林, 张志明, 张金树, 胡正华. 2011a. 藏北阿里地区新发现的尕尔穷铜金多金属矿床地质特征及其找矿前景[J]. 矿床地质 30(6): 1149-1153
- 李志军, 唐菊兴, 姚晓峰, 邓世林, 王友. 2011b. 班公湖-怒江成矿带西段尕尔穷铜金矿床辉钼矿 Re-Os 年龄及其地质意义[J]. 成都理工大学学报(自然科学版) 38(6): 678-683
- 雷传扬, 李志军, 张志明, 胡正华, 王红星, 宋俊龙. 2012. 西藏尕尔穷铜金矿床花岗岩类的地球化学特征及其地球动力学意义[J]. 地球学报 33(4): 601-612
- 吕丽娜, 崔玉斌, 宋亮, 赵元艺, 曲晓明, 王江朋. 2011. 西藏嘎拉勒夕卡岩型金(铜)矿床地球化学特征与锆石的 LA-ICP-MS 定年及意义[J]. 地学前缘 18(5): 224-242
- 吕立娜. 2012. 西藏班公湖-怒江成矿带西段富铁与铜(金)矿床模型[D]. 北京: 中国地质科学院: 1-217
- 莫宣学, 赵志丹, 邓晋福, 董国臣, 周肃, 郭铁鹰, 张双全, 王亮亮. 2003. 印度-亚洲大陆主碰撞过程的火山岩作用响应[J]. 地学前缘 10(3): 135-148
- 曲晓明, 王瑞江, 辛洪波, 赵元艺, 樊兴涛. 2009. 西藏西部与班公湖特提斯洋盆俯冲相关的火成岩年代学和地球化学[J]. 地球化学 38(6): 523-535
- 宋俊龙, 李志军, 姚晓峰, 邓世林, 张志明, 胡正华, 雷传扬, 王红星. 2012. 西藏革吉县尕尔穷铜金矿砂卡岩特征及成因意义[J]. 地球学报 33(4): 703-712
- 王焰, 张旗, 钱青. 2000. 埃达克岩(adakite)的地球化学特征及其构造意义[J]. 地质科学 35(2): 251-256
- 王强, 许继峰, 赵振华. 2001. 一种新的火成岩-埃达克岩的研究综述[J]. 地球科学进展 16(2): 201-208
- 王冠民, 钟建华. 2002. 班公湖-怒江构造带西段三叠系-侏罗系构造-沉积演化[J]. 地质论评 48(3): 297-303
- 王友. 2010. 西藏革吉县尕尔穷铜金矿床矿石特征研究(硕士论文)[D]. 成都: 成都理工大学: 1-81
- 姚晓峰, 唐菊兴, 王友, 李志军, 邓世林. 2011. 西藏尕尔穷铜金矿矿物特征研究[J]. 地质与勘探 47(6): 1018-1025
- 姚晓峰, 唐菊兴, 李志军, 邓世林, 丁帅, 胡正华, 张志明. 2012. 班怒西段尕尔穷铜金矿两套侵入岩源区及其地质意义-来自 Hf 同位素特征的指示[J]. 吉林大学学报(地球科学版) 42(2): 188-197
- 姚晓峰, 唐菊兴, 李志军, 邓世林, 丁帅, 胡正华, 张志明. 2013. 班怒带西段尕尔穷砂卡岩型铜金矿含母岩成岩时代的重新厘定及其地质意义[J]. 地质论评 59(1): 193-201
- 张旗, 王焰, 钱青, 杨进辉, 王元龙, 赵太平, 郭光军. 2001. 中国东部燕山期埃达克岩的特征及其构造-成矿意义[J]. 岩石学报 17(2): 236-244
- 张志明, 唐菊兴, 杨毅, 李志军, 姚晓峰, 邓世林, 王红星, 宋俊龙. 2012. 西藏尕尔穷铜金矿元素空间分布规律及地球化学勘查模型[J]. 地球学报 33(4): 663-672
- 朱弟成, 莫宣学, 王立全, 赵志丹, 牛耀刚, 周长勇, 杨岳衡. 2009. 西藏冈底斯东部察隅高分异 I 型花岗岩的成因: 锆石 U-Pb 年代学、地球化学和 Sr-Nd-Hf 同位素约束[J]. 中国科学(D 辑) 39(7): 833-848

Petrology and Geochemistry of Intrusive Rocks in the Ga'erqiong-Galale Ore Concentration Area, Tibet and Their Geological Implications

ZHANG Zhi¹, TANG Ju-xing², LI Zhi-jun¹, YANG Yi¹, HU Zheng-hua¹, YAO Xiao-feng³,
SONG Jun-long¹, CHEN Wei¹, WANG Hong-xing¹, YANG Huan-huan¹
(1. Chengdu University of Technology, Chengdu, Sichuan 610059;

2. Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037;

3. China University of Geosciences, Beijing 100083; 4. Jiangxi Institute of Geological Survey, Nanchang, Jiangxi 330000)

Abstract: The Ga'erqiong-Galale ore-concentration area, located in the western segment of the Bangong-Nujiang metallogenic belt, is a skarn (porphyry) copper-gold ore concentration area where significant exploration breakthrough has been achieved in recent years. The Ga'erqiong and Galale copper-gold deposits have been discovered in this ore concentration area. The types of the intrusive rocks include GL (Galale) granodiorite, GL granite porphyry, GL diorite, GE (Ga'erqiong) granite porphyry and GE quartz diorite. Geochemical characteristics indicate that the $\omega(\text{SiO}_2)$: 53.68% ~ 80.78%, $\omega(\text{Al}_2\text{O}_3)$: 8.51% ~ 16.91%, A/CNK : 0.54 ~ 1.11, implying that the intrusive rocks are of metaluminous-weakly metaluminous calc-alkaline-K calc-alkaline stocks. Geochemical characteristics of trace elements and rare earth elements indicate that the intrusive rocks are enriched in Rb, Sr and Th and depleted in Ta, Nb, Hf, Zr, Yb and Ti. All the intrusive rocks have negative anomalies of Nb, Ta and Ti and the GE granite porphyry deficits Sr and Ti especially. Distinguishing of the petrogenesis type indicates that GE granite is granite of S-type, others are granite of I-type. Identification of tectonic environments suggests that the intrusive rocks in ore concentration area were formed in the stage of the collision uplift after the closing of the Bangong-Nujiang Tethys ocean.

Key words: Ga'erqiong-Galale ore concentration area, Geochemistry, Bangong-Nujiang belt, Tibet