东准噶尔北缘老山口矿区花岗质岩体 地球化学特征

吕书君^{1,2)},杨富全³⁾,柴凤梅⁴⁾,耿新霞³⁾

初南省地质矿产勘查开发局407 队,湖南怀化,418000;2)中国地质大学,北京,100083;
中国地质科学院矿产资源研究所,国土资源部成矿作用与资源评价重点实验室,北京,100037;

4) 新疆大学,新疆中亚造山带大陆动力学与成矿预测实验室,乌鲁木齐,830049

内容提要:东准噶尔北缘老山口铁铜金矿区花岗质岩体主要有石英闪长岩、黑云母闪长岩、二长花岗岩、正长斑 岩和闪长(玢)岩。对黑云母闪长岩和正长斑岩进行了岩石地球化学研究,结果表明:黑云母闪长岩 SiO₂含量介于 54.43% ~55.10%, Al₂O₃和 CaO 含量分别为 16.92% ~17.64%和 5.35% ~5.94%, Mg^{*}值为(51.95~55.96), 富碱 (K₂O + Na₂O = 9.0% ~9.43%) 和高钾(K₂O/Na₂O = 1.32~1.74); 与之相比, 正长斑岩的 SiO₂(59.96% ~63.60%)、 Al₂O₃(18.15% ~19.13%) 和 Mg^{*}(30.16~48.20)、全碱(K₂O + Na₂O = 11.81% ~13.17%) 含量偏高, CaO 含量 (1.13% ~2.47%)和 K₂O/Na₂O 比值(1.1~1.53)偏低。它们属钾玄质系列岩石。所有岩石富集 LREE 和 Rb、K、 Pb、Sr 和 Zr, 相对亏损 Nb、Ta 和 Ti, 是晚古生代准噶尔古大洋俯冲的产物。黑云母闪长岩是俯冲板片熔体和富含钾 的地幔楔熔体深侵位的产物, 正长斑岩为黑云母闪长岩原始岩浆经角闪石和辉石的分离结晶后又经钾长石堆晶和 角闪石残余岩浆浅侵位的产物。

关键词:花岗质岩体;地球化学;岩石成因;老山口;东准噶尔北缘

新疆东准噶尔北部地区是中亚造山带的重要组 成部分,位于西伯利亚板块和哈萨克斯坦—准噶尔 板块的结合部位,为显生宙增生造山带(Sengor et al.,1993; Windley et al., 2002; Xiao Wenjiao et al., 2004)。前人对东准噶尔地区地质构造演化进行了 大量的研究,认为准噶尔北缘和阿尔泰南缘晚古生 代经历了板块俯冲、板块碰撞和板内拉张过程(王 道永等,1995;许继峰等,2001;Li Jinvi et al., 2003; 张海祥等,2004)。但对板块俯冲的起止时间存有 较大争议,即板块俯冲是从早志留世开始(张海祥 等,2008)还是从泥盆纪开始(张招崇等,2006);准 噶尔古大洋最终闭合的时间是泥盆纪(王道永等, 1995)、石炭纪(周刚等,2009)还是二叠纪(龙晓平 等,2006)?花岗质岩类的研究可为板块的俯冲、碰 撞及后碰撞造山过程提供重要信息(刘伟等,1990; 忻建刚等,1995;肖庆辉等,1995)。近年来,前人对 本区花岗质岩类的形成时代、岩石成因、形成环境以 及成矿作用等方面进行了大量研究,并取得了丰硕的成果(Han Baofu et al.,1997; Jahn,2001, Jahn et al., 2004; 周刚等,2006; 苏玉平,2006; Windley et al.,2007; 应力娟,2007; 龙灵利,2009; 谭佳奕等,2009;杨高学,2010),这些成果为东准噶尔地区的构造演化及成矿作用研究奠定了坚实基础。

老山口铁铜金矿床(包括托斯巴斯套铁铜金矿 床和老山口铜金矿床)位于东准噶尔北缘,是准噶 尔成矿带的重要组成部分,主要赋存于中泥盆统北 塔山组玄武质火山角砾岩和玄武岩中。前人对该矿 床进行了一定程度的研究,如程剑(2004)和李泰德 (2009)总结了老山口铁铜金矿区IV矿段地质特征, 对矿床成因进行了简单分析;刘家远(2001)和喻享 祥等(2001)探讨了矿区隐爆角砾岩的岩石学和地 球化学特征;陈毓川等(2004)和周汝洪等(2005)对 矿区及区域上苦橄岩地球化学特征进行了研究。吕 书君等(2012a,b)对矿区花岗质岩体年代学和成矿

注:本文为国土资源部公益性行业科研专项经费项目(编号 201211073)和国家科技支撑计划项目(编号 2011BAB06B03-02)合作资助的成果。

收稿日期:2012-08-19;改回日期:2013-07-17;责任编辑:章雨旭。

作者简介:吕书君,女,1984年生。硕士。矿床学与矿床地球化学专业。Email:lvshujun1314520@126.com。通讯作者:杨富全,男,1968年 生。博士,研究员,博士生导师。主要从事矿床地质、地球化学研究。Email: fuquanyang@163.com。

流体进行过系统研究。但对于该矿床的成因类型存 在多种认识,如:与火山机构有关的中一低温火山 热液型、中一低温火山热液型、IOCG型和砂卡岩型 (杨金明,1997;刘家远,2001;程剑,2004;聂风军等, 2008;李泰德等,2009;路彦明等,2009)。

老山口铁铜金矿区发育有大量的花岗质岩体,

有关这些岩体的成因、形成环境以及与成矿关系的 研究十分薄弱。本文对老山口铁铜金矿区出露的正 长斑岩和黑云母闪长岩的地球化学特征进行了研 究,探讨它们的成因及动力学机制,以期为老山口铁 铜金矿床的成矿环境和矿床成因等方面的研究提供 信息,也为东准噶尔地区晚古生代构造一岩浆热事



图 1 准噶尔北缘老山口一带区域地质图(据新疆地质矿产局第一区调队[•];新疆地矿局第四地质大队[●]修改) Fig. 1 Regional geological sketch map of the Laoshankou area on the northern margin of the Junggar, Xinjiang (modified from The No. 1 Regional Geological Survey Team of Xinjiang Bureau of Geology and Mineral Resources[•]; The No. 4 Geological Team of Xinjiang Bureau of Geology and Mineral Resources[•])

Q—第四系松散沉积;E+N—古近系—新近系陆相砂砾岩、泥岩;C₂—中石炭统陆相碎屑岩;C₁—下石炭统海陆交互相碎屑岩;D₃—上泥盆 统卡希翁组海陆交互相碎屑岩建造;D₂y—中泥盆统上部蕴都哈拉组中—酸性火山岩建造;D₂b—中泥盆统北塔山组基性火山岩;D₂a—中泥 盆统阿勒泰组火山岩;D₁t—下泥盆统托让格库都克组双峰式火山岩;D₁k—下泥盆统康布铁堡组火山岩;O₂₊₃—中—上奥陶统碳酸盐岩; λπc—石英斑岩、钠质花岗岩;γπc—二长花岗斑岩;ξγc—钾长花岗岩;γc—二长花岗岩;δc—闪长岩、石英闪长岩;νc—辉长岩;σνc—片麻岩; σo—扎河坝蛇绿岩

Q-Quaternary loose sediment; E + N-Eogene-Neogene continental glutenite and mudstone; C₂-Middle Carboniferous continental clastic rock; C₁-Lower Carboniferous marine-continental clastic rock; D₃-marine-continental clastic rock of the Upper Devonion Kaxiweng Formation; D₂yandesite of the upper part of Middle Devonion Yundukala Formation; D₂b-basic volcanic rock of the Middle Devonion Beitashan Formation; D₂avolcanic rock of the Middle Devonion Aletay Formation; D₁t-bimodal volcanic rock of the Lower Devonion Tuorangkekuduke Formation; D₁kvolcanic rock of the Lower Devonion Kangbutiebao Formation; O₂₊₃-Middle and Upper Ordovician carbonatite; $\lambda \pi c$ -quartz porphyry and granite; $\gamma \pi c$ -monzonite granite porphyry; $\xi \gamma c$ -moyite; γc -monzonite granite; δc -diorite and quartz diorite; νc -graniton; $\sigma \nu c$ -gneiss; σo -Zhaheba ophiolit 件及成矿作用提供新的依据。

1 区域地质背景

新疆东准噶尔北部位于哈萨克斯坦一准噶尔板 块之准噶尔北缘活动陆缘中的萨吾尔晚古生代岛弧 带(何国琦等,1994)。出露地层主要有上奥陶统灰 岩夹砂岩;下泥盆统托让格库都克组火山岩夹凝灰 质砂岩;中泥盆统下部北塔山组基性一中基性火山 岩和火山碎屑沉积岩,中泥盆统上部蕴都喀拉组中 酸性火山岩;上泥盆统卡希翁组滨一浅海相夹陆相 火山碎屑岩一陆源沉积岩,局部有玄武岩和流纹岩; 下石炭统姜巴斯套组、那林卡拉组和巴塔玛依内山 组海陆交互相碎屑岩夹偏碱性火山岩;上石炭统哈 尔加乌组陆源碎屑岩夹英安岩和凝灰岩;二叠纪为 陆内河湖相磨拉石沉积建造。

区内侵入岩分布广泛,基性、中性和酸性岩均有 出露,以酸性岩为主。岩体年龄统计显示东准噶尔 古生代岩浆侵入活动存在二期活动高峰:390~ 370Ma和320~270Ma(韩宝福等,2006),其中晚石 炭世一早二叠世后碰撞阶段岩浆侵入活动最强,峰 值为305Ma。目前,在准噶尔地区已发现了与大洋 扩张有关的M型花岗岩形成时代为394Ma(肖序常 等,1992),与俯冲阶段有关的花岗岩形成时代为 381~376Ma(张招崇等,2006;赵战锋等,2009;薛春 纪等,2010),与碰撞和后碰撞过程有关的花岗岩形 成时代为294~270Ma(Chen Bin et al.,2004;韩宝 福等,2006)。

区内矿产资源较为丰富,已发现了老山口铁铜 金矿、喀拉萨依铜矿、希勒克特哈腊苏铜矿、卡拉先 格尔铜矿、玉勒肯哈腊苏铜矿、喀拉通克铜镍矿、乔 夏哈拉铁铜金矿、索尔库都克铜钼矿、希勒库都克铜 钼矿等(图1)。

2 矿区地质

矿区内出露地层主要有中泥盆统北塔山组和下 泥盆统托让格库都克组。其中北塔山组为容矿岩 系,主要岩石组合为安山岩、玄武岩、玄武质火山角 砾岩及火山碎屑岩夹砂岩、灰岩;下泥盆统托让格库 都克组为玄武岩、安山岩、安山质火山角砾岩、凝灰 岩、玄武质火山角砾岩、钙质砂岩、钙泥质砂砾岩、大 理岩和沉凝灰岩,与上覆北塔山组呈断层接触(图 2)。中基性侵入岩呈北西向展布,出露面积较大的 岩体有闪长岩、二长岩、二长花岗岩、花岗岩,另有安 山玢岩、英安玢岩、正长斑岩、闪长玢岩和辉绿岩岩



图 2 老山口铁铜金矿区地质图(据新疆有色地质勘查局 地球物理探矿队[●]修改)

Fig. 2 Geological map of the Laoshankou iron—copper deposit (modified from Geophysical Prospecting Team of the Xinjiang Nonferrous Geoexploration Bureau[⊕])

Q一第四系松散沉积;D₂b一中泥盆统北塔山组基性火山岩;D₁t--下泥盆统托让格库都克组双峰式火山岩;ξoπ--正长斑岩;δμ---闪 长玢岩;δ---黑云母闪长岩;ηγρ---二长花岗岩;γ-花岗岩

Q—Quaternary loose sediment; D₂ b— basic volcanics of the Middle Devonion Beitashan Formation; D₁ t—bimodal volcanic rocks of the Lower Devonion Tuorangkekuduke Formation; $\xi_0\pi$ —syenite porphyry; $\delta\mu$ —diorite porphyrite; δ —biotite diorite; $\eta\gamma\rho$ —monzogranite; γ —granite

脉,均侵位于北塔山组中。矿区主要岩体为二长岩 和二长花岗岩,出露总面积为 29.08 km²;闪长岩体 呈岩株状、岩枝状、脉状产出,包括黑云母闪长岩和 石英闪长岩,其中石英闪长岩,出露总面积约 2.6km²,多呈不规则岩株、岩瘤状;正长斑岩出露总 面积较小,约0.80 km²,呈脉状、不规则岩株、脉状, 受断裂构造控制明显;闪长玢岩位于卡拉先格尔一 二台断裂的南侧,多呈脉状、岩株状呈北西向展布 (图 2)。

3 岩石学特征

老山口矿区石英闪长岩、黑云母闪长岩、正长斑 岩和闪长玢岩在空间上密切共生,多呈脉状、不规则 岩株状产出。正长斑岩(图 3a、h)侵位于黑云母闪 长岩、火山岩地层中。黑云母闪长岩(图 3b、i)呈岩 株状、岩枝状、脉状侵入火山岩中。闪长玢岩(图 3c、d、e)多呈脉状、岩株状呈北西向展布,有明显矿 化。石英闪长岩体(图 3f、g)主要分布于矿区中部。 野外关系研究表明,这些岩石单元形成的相对时序 为黑云母闪长岩、正长斑岩和石英闪长岩,与这些岩



图 3 老山口铁铜金矿区侵入体岩相学特征及显微照片

Fig. 3 Petrographical characteristics of the intrusions and microscope photographs of granites

in the Laoshankou iron-copper deposit

(a) 正长斑岩;(b) 闪长玢岩与黑云母闪长岩;(c)、(d)、(e) 闪长玢岩与磁铁矿矿体;(f) 石英闪长岩与玄武岩接触处的矿体;(g) 石英闪长 岩;(h) 正长斑岩中的钾长石定向排列,单偏光;(i) 黑云母闪长岩;(j) 石英闪长岩中的钾长石(Kfs)具有条纹结构,正交偏光;(k) 正长斑 岩中钾长石(Kfs)具有条纹结构,斜长石(Pl)具有聚片双晶,正交偏光;(l) 黑云母闪长岩中斜长石(Pl)具有聚片双晶,中间部位绢云母化,正 交偏光

(a) syenite; (b) diorite porphyrite and biotite diorite; (c), (d), (e) diorite porphyrite and magnetite orebodies; (f) the orebody on contact part between diorite and basalt; (g) quartz diorite; (j) perthitic texture of K-feldspar distributed in the diorite; crossed nicols; (h) K-feldspar orientationally arranged in syenite; single nicols; (k) perthitic texture of K-feldspar and polysynthetic twin of plagioclase (Pl) in the syenite; crossed nicols; (i) biotite diorite; (l) polysynthetic twin of plagioclase (Pl) develop biotite in its middle section, biotite diorite; crossed nicols

体精确的测年结果(黑云母闪长岩379Ma,正长斑岩366Ma,石英闪长岩353Ma;吕书君等,2012a)一致。

闪长玢岩和黑云母闪长岩体与玄武岩接触带发育铁铜矿化(图3f)。

石英闪长岩呈浅灰白色,具半自形中粒结构,块 状构造(图3a)。主要由斜长石(60%~65%)、钾长 石(5%~10%)、普通角闪石(20%~25%)和石英 (5%~15%)组成。其中斜长石呈半自形长板状, 长约2.5mm,环带结构和聚片双晶发育,发生绢云 母化,个别较大颗粒见包裹磷灰石和锆石;钾长石呈 半自形板状,条纹结构发育,分布于斜长石与角闪石 之间;角闪石多为褐绿色,半自形长柱状,颗粒小于 斜长石但大于钾长石;石英呈它形粒状充填于其它 矿物间。副矿物有磁铁矿、磷灰石、锆石和榍石(图 3j)。

正长斑岩呈肉红色,块状构造,似斑状结构。斑 晶主要有钾长石、斜长石和角闪石。钾长石斑晶呈 自形板状,占斑晶总量约75%~80%,发育条纹结 构,具定向排列(图3b);斜长石呈半自形板状,粒度 大小不等,长约1.2~2.5mm,占斑晶总量10%~ 15%;角闪石褐绿色,占斑晶总量5%左右,多为自 形柱状,均已发生绿泥石化。基质具细一微粒结构, 由钾长石、斜长石及磁铁矿、榍石等组成。其中钾长 石呈半自形板条状,长约0.05~0.10mm,含量约 50%~60%;斜长石约5%~10%,可见聚片双晶 (图3k)。

黑云母闪长岩呈浅灰白色,块状构造,半自形粒状结构(图3c)。主要矿物由斜长石(60%~65%)、 钾长石(<10%)、黑云母(5%~10%)、普通角闪石 (10%~15%)和辉石(5%)组成。其中斜长石多呈 半自形板柱状,长约2.5~3.0mm,环带构造发育, 中部多已发生钠黝帘石化。黑云母呈褐色,它形一 自形片状,多分布于角闪石边部,局部绿泥石化。角 闪石绿色,半自形长柱状,横截面呈六边形;辉石均 已蚀变为绿泥石、绿帘石和透闪石,钾长石具有条纹 结构,见其裂隙有绿帘石充填。副矿物有榍石、磁铁 矿和锆石等(图31)。

4 地球化学特征

4.1 分析方法

本研究对老山口铁铜金矿区南部的正长斑岩(8件)、黑云母闪长岩(7件)样品进行了主量元素和微量元素分析。正长斑岩样号 LSK10-LSK17,采自北纬:46°27′17.6″,东经:90°07′03.5″。黑云母闪长岩样号 LSK19-LSK25,采自北纬:46°27′11.2″,东经:90°07′08.1″。

所有的样品均是在显微镜下观察后,选择具有 代表性和蚀变程度较低的样品。所分析的样品均是 去除表皮风化物并洗净晾干后在玛瑙乳钵中粉碎成 200 目粉末样。主量元素、微量和稀土元素测试在 中国科学院地质与地球物理研究所国家重点实验室 完成。主量元素采用熔片 XRF 方法(国家标准 GB/ T 14506.28-1993 监控)在 X 荧光光谱仪 3080E 上 测定;稀土和微量元素先采用 Teflon 熔样罐进行熔 样,然后采用 Finnigan MAT 公司生产的双聚焦高分 辨 ICP-MS 进行测定(标准 DZ/T 0223-2001 监控), 含量 >10 × 10⁻⁶的元素分析精度优于 5%,含量 < 10 × 10⁻⁶的元素分析精度优于 5%,含量 < 10 × 10⁻⁶的元素分析精度优于 10%。岩石地球化 学数据处理及作图采用路远发的 Geokit 软件,原理 与方法见路远发(2004)。分析结果列于表1。

4.2 主量元素特征

老山口岩体主量元素成分见表1。在侵入岩的 TAS 分类命名图解(图4)上,黑云母闪长岩投在二 长闪长岩区域的外缘下侧;正长斑岩投在正长岩区 域内。黑云母闪长岩 SiO,含量介于 54.43% ~ 55.10%之间, Al, O, 含量变化于16.92%~17.64% 之间, CaO、MgO和TiO,含量低,分别介于5.35%~ 5.94%, 3.79%~4.41%和0.53%~0.59%之间, Mg[#]值介于 51.95~55.96, 全碱含量较高(K₂0+ Na₂O = 9.0% ~ 9.43%) 且相对富钾(K₂O/Na₂O = 1.32~1.74),里特曼指数为6.82~7.18,铝饱和指 数较低(A/CNK = 0.76~0.81)。正长斑岩的 SiO₂ 含量变化于 59.96% ~ 63.60%, Al₂ O₃ 含量介于 18.15%~19.13%之间, MgO、CaO和TiO2含量分别 为 0.36% ~ 0.98%, 1.13% ~ 2.47% 和 0.17% ~ 0.35%, Mg[#] 值介于 30.16~48.20, 全碱含量为 11.65%~13.02%, 且相对富钾(K₂0/Na₂0=1.11 ~1.53),铝饱和指数(A/CNK)为0.93~0.98。矿 区出露的石英闪长岩与黑云母闪长岩具有一致的元 素特征(张希兵等,2011)。

在 K₂O—SiO₂图解(图 5)上,所有样品均落在 钾玄岩系列岩区。所有样品在 A/CNK—A/NK 图 解中均位于准铝质岩区(图 6)。

4.3 微量和稀土元素特征

老山口两个岩体的稀土元素总量较低,其中黑 云母闪长岩的稀土总含量(ΣREE)介于 58.74 × 10⁻⁶~69.51×10⁻⁶之间,正长斑岩稀土元素总含量 (ΣREE)介于 22.83×10⁻⁶~42.74×10⁻⁶之间,均 低于地壳岩浆岩平均值(164×10⁻⁶),与地壳重熔 型花岗岩(S型)的较高稀土元素含量存在明显差异 (邱家骧,1991)。所有岩石均富集轻稀土,LREE/ HREE分别为4.85~5.92和5.65~6.16。在稀土

表 1 准噶尔北缘老山口铁铜金矿区花岗质岩体主量(%)和微量(×10 - 6)分析结果

Table 1 Major(%) and trace element($\times 10^{-6}$) data for granitoids of the Laoshankou iron—copper depositat the northern margin of the Junggar, Xinjiang

| 样号 | LSK10 | LSK11 | LSK12 | LSK13 | LSK14 | LSK15 | LSK16 | LSK17 | LSK19 | LSK20 | LSK21 | LSK22 | LSK23 | LSK24 | LSK25 | |
|------------------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--|
| 岩石类型 | 正长斑岩 | | | | | | | | 黑云母闪长岩 | | | | | | | |
| SiO ₂ | 59.96 | 63.15 | 62.37 | 62.95 | 62.78 | 63.29 | 63.60 | 61.69 | 54.57 | 54.67 | 54.43 | 54.56 | 54.95 | 55.10 | 54.56 | |
| TiO_2 | 0.35 | 0.17 | 0.20 | 0.18 | 0.17 | 0.19 | 0.20 | 0.22 | 0.57 | 0. 59 | 0.58 | 0.56 | 0.53 | 0.54 | 0.53 | |
| Al_2O_3 | 18.67 | 18.66 | 19.13 | 18.50 | 18.68 | 18.42 | 18.15 | 18.59 | 17.11 | 17.18 | 16.92 | 17.64 | 17.28 | 17.57 | 17.38 | |
| TFe_2O_3 | 4.32 | 2.62 | 2.18 | 2.54 | 2.65 | 2.95 | 3.15 | 3.38 | 6.66 | 6.47 | 6.86 | 6.72 | 6.43 | 5.88 | 6.71 | |
| MnO | 0.07 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.05 | 0.04 | 0.03 | 0.04 | 0.12 | 0.12 | 0.12 | 0.12 | 0.12 | 0.11 | 0.12 | |
| MgO | 0.98 | 0.38 | 0.47 | 0.37 | 0.36 | 0.39 | 0.44 | 0.49 | 4.41 | 4.25 | 3.84 | 4.18 | 3.99 | 3.79 | 4.31 | |
| CaO | 2.47 | 1.57 | 2.01 | 1.13 | 1.74 | 1.41 | 1.3 | 1.87 | 5.35 | 5.56 | 5.94 | 5.59 | 5.46 | 5.62 | 5.44 | |
| Na_2O | 5.38 | 5.77 | 5.83 | 5.14 | 5.76 | 5.60 | 5.48 | 5.46 | 3.42 | 3.30 | 3.39 | 3.83 | 3.51 | 3.61 | 3.54 | |
| K ₂ O | 6.27 | 7.04 | 6.41 | 7.88 | 6.77 | 6.64 | 6.65 | 6.88 | 5.66 | 5.73 | 5.67 | 5.05 | 5.52 | 5.66 | 5.40 | |
| P_2O_5 | 0.22 | 0.09 | 0.12 | 0.09 | 0.09 | 0.09 | 0.1 | 0.14 | 0.43 | 0.42 | 0.48 | 0.46 | 0.43 | 0.42 | 0.49 | |
| 烧失量 | 0.94 | 0.56 | 0.70 | 0.66 | 0.56 | 0.56 | 0.6 | 0.66 | 1.20 | 1.18 | 1.22 | 0.98 | 1.24 | 1.16 | 1.06 | |
| 总量 | 99.63 | 100.04 | 99.47 | 99.47 | 99.60 | 99.58 | 99.70 | 99.42 | 99.51 | 99.48 | 99.44 | 99.69 | 99.46 | 99.46 | 99. 55 | |
| A/CNK | 0.93 | 0.93 | 0.95 | 0.97 | 0.94 | 0.97 | 0.98 | 0.94 | 0.80 | 0. 79 | 0.75 | 0.80 | 0.80 | 0.79 | 0.81 | |
| A/NK | 1.19 | 1.09 | 1.16 | 1.09 | 1.11 | 1.12 | 1.12 | 1.13 | 1.46 | 1.48 | 1.45 | 1.50 | 1.47 | 1.46 | 1.49 | |
| $K_2 O/Na_2 O$ | 1.17 | 1.22 | 1.10 | 1.53 | 1.18 | 1.19 | 1.21 | 1.26 | 1.65 | 1.74 | 1.67 | 1.32 | 1.57 | 1.57 | 1.52 | |
| $K_2O + Na_2O$ | 11.65 | 12.81 | 12.24 | 13.02 | 12.53 | 12.24 | 12.13 | 12.34 | 9.08 | 9.03 | 9.06 | 8.88 | 9.03 | 9.27 | 8.94 | |
| Mg# | 48.20 | 40. 59 | 47.73 | 41.02 | 32.70 | 30.16 | 33.28 | 43.24 | 53.65 | 55.35 | 53.06 | 51.95 | 55.96 | 52.37 | 52.56 | |
| La | 8.66 | 5.4 | 5.6 | 5.06 | 5.06 | 6.13 | 6.38 | 7.95 | 10.8 | 10.9 | 12.9 | 11.3 | 11.2 | 11.3 | 12.5 | |
| Ce | 15.1 | 7.76 | 7.59 | 7.69 | 7.4 | 9.94 | 9.75 | 12.5 | 22.2 | 22.8 | 26.8 | 24.1 | 22.8 | 22.5 | 26 | |
| Pr | 2.05 | 1.09 | 1.11 | 1.03 | 1.02 | 1.31 | 1.44 | 1.62 | 2.67 | 2.74 | 3.17 | 2.9 | 2.71 | 2.72 | 3.16 | |
| Nd | 8.13 | 4.26 | 4.36 | 4.13 | 4.23 | 5.09 | 5.64 | 6.51 | 11.1 | 11.4 | 12.9 | 12.1 | 11.5 | 11.4 | 12.9 | |
| Sm | 1.84 | 1.03 | 0.9 | 0.98 | 1.02 | 1.18 | 1.37 | 1.49 | 2.53 | 2.55 | 2.98 | 2.88 | 2.58 | 2.45 | 2.94 | |
| Eu | 0.78 | 0.57 | 0.5 | 0.51 | 0.57 | 0.49 | 0.47 | 0.62 | 0.81 | 0.83 | 0.87 | 0.88 | 0.88 | 0.84 | 0.92 | |
| Gd | 1.8 | 0.97 | 0.98 | 0.9 | 0.97 | 1.09 | 1.18 | 1.38 | 2.55 | 2.67 | 2.97 | 2.87 | 2.62 | 2.64 | 3.1 | |
| Tb | 0.28 | 0.17 | 0.15 | 0.15 | 0.16 | 0.2 | 0.21 | 0.24 | 0.4 | 0.39 | 0.43 | 0.42 | 0.37 | 0.35 | 0.44 | |
| Dy | 1.58 | 0.96 | 0.92 | 0.92 | 0.87 | 1.18 | 1.32 | 1.33 | 2.15 | 2.23 | 2.51 | 2.41 | 2.19 | 2.03 | 2.45 | |
| Ho | 0.33 | 0.2 | 0.2 | 0.19 | 0.2 | 0.26 | 0.28 | 0.27 | 0.46 | 0.48 | 0.51 | 0.51 | 0.46 | 0.44 | 0.5 | |
| Er | 0.98 | 0.63 | 0.64 | 0.63 | 0.54 | 0.87 | 0.93 | 0.87 | 1.39 | 1.47 | 1.55 | 1.48 | 1.31 | 1.29 | 1.61 | |
| Tm | 0.14 | 0.09 | 0.09 | 0.09 | 0.08 | 0.13 | 0.14 | 0.12 | 0.19 | 0.2 | 0.21 | 0.22 | 0.19 | 0.18 | 0.24 | |
| Yb | 0.92 | 0.62 | 0.66 | 0.61 | 0.62 | 0.88 | 0.96 | 0.87 | 1.3 | 1.37 | 1.49 | 1.45 | 1.33 | 1.19 | 1.6 | |
| Lu | 0.15 | 0.1 | 0.1 | 0.11 | 0.09 | 0.14 | 0.15 | 0.14 | 0.19 | 0.21 | 0.22 | 0.22 | 0.21 | 0.19 | 0.25 | |
| ΣREE | 42.74 | 23.85 | 23.80 | 23.00 | 22.83 | 28.89 | 30. 22 | 35.91 | 58.74 | 60.24 | 69.51 | 63.74 | 60.35 | 59.52 | 68.61 | |
| LREE | 36.56 | 20.11 | 20.06 | 19.40 | 19.30 | 24.14 | 25.05 | 30. 69 | 50.11 | 51.22 | 59.62 | 54.16 | 51.67 | 51.21 | 58.42 | |
| HREE | 6.18 | 3.74 | 3.74 | 3.60 | 3.53 | 4.75 | 5.17 | 5.22 | 8.63 | 9.02 | 9.89 | 9.58 | 8.68 | 8.31 | 10. 19 | |
| LREE/HREE | 5.92 | 5.38 | 5.36 | 5.39 | 5.47 | 5.08 | 4.85 | 5.88 | 5.81 | 5.68 | 6.03 | 5.65 | 5.95 | 6.16 | 5.73 | |
| La_N/Yb_N | 6.35 | 5.87 | 5.72 | 5.59 | 5.50 | 4.70 | 4.48 | 6.16 | 5.60 | 5.36 | 5.84 | 5.25 | 5.68 | 6.40 | 5.27 | |
| δEu | 1.30 | 1.72 | 1.62 | 1.63 | 1.73 | 1.30 | 1.10 | 1.30 | 0.97 | 0.97 | 0.89 | 0.93 | 1.03 | 1.00 | 0.93 | |
| Sr | 507 | 270 | 305 | 269 | 285 | 167 | 165 | 324 | 865 | 954 | 733 | 822 | 922 | 851 | 814 | |
| Rb | 128 | 141 | 113 | 161 | 127 | 137 | 141 | 130 | 129 | 136 | 102 | 109 | 120 | 134 | 125 | |
| Ва | 913 | 397 | 426 | 482 | 377 | 245 | 244 | 489 | 827 | 907 | 813 | 778 | 881 | 1083 | 776 | |
| Th | 1.49 | 1.14 | 1.41 | 2.68 | 1.04 | 2.78 | 3.22 | 2.63 | 1.55 | 2.30 | 2.55 | 3.78 | 2.07 | 1.68 | 4.36 | |
| U | 0.58 | 0.38 | 0.49 | 0.72 | 0.36 | 0.65 | 0.79 | 0.82 | 1.01 | 1.20 | 0.91 | 1.29 | 0.88 | 0.82 | 1.93 | |
| Cr | 24.6 | 2.03 | 2.91 | 2.49 | 2.39 | 2.97 | 1.89 | 3.42 | 148 | 146 | 142 | 154 | 136 | 134 | 166 | |
| Та | 0.17 | 0.09 | 0.14 | 0.22 | 0.07 | 0.21 | 0.24 | 0.18 | 0.20 | 0.24 | 0.21 | 0.25 | 0.19 | 0.19 | 0.26 | |
| Nb | 3.60 | 1.39 | 2.63 | 2.80 | 1.32 | 3.30 | 4.05 | 2.95 | 4.36 | 4.83 | 4.64 | 4.92 | 4.03 | 3.93 | 5.05 | |
| Pb | 7.65 | 8.25 | 6.62 | 7.18 | 7.69 | 7.59 | 6.91 | 7.10 | 8.89 | 10.3 | 12.0 | 9.09 | 10.1 | 10.5 | 9.12 | |
| Sr | 507 | 270 | 305 | 269 | 285 | 167 | 165 | 324 | 865 | 954 | 733 | 822 | 922 | 851 | 814 | |
| Zr | 51.2 | 44.8 | 61.1 | 55.0 | 51.1 | 67.9 | 62.6 | 57.1 | 55.0 | 75.8 | 70.9 | 97.6 | 58.3 | 54.6 | 147 | |
| Hf | 1.23 | 1.01 | 1.38 | 1.40 | 1.12 | 1.64 | 1.69 | 1.46 | 1.43 | 1.84 | 1.76 | 2.31 | 1.41 | 1.34 | 3. 16 | |

| 样号 | LSK10 | LSK11 | LSK12 | LSK13 | LSK14 | LSK15 | LSK16 | LSK17 | LSK19 | LSK20 | LSK21 | LSK22 | LSK23 | LSK24 | LSK25 | | |
|------|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--|--|
| 岩石类型 | 石类型 正长斑岩 | | | | | | | | 黑云母闪长岩 | | | | | | | | |
| Cu | 47.3 | 18.1 | 25.6 | 39.7 | 17.0 | 32.4 | 32.0 | 23.8 | 93.6 | 119 | 206 | 107 | 79.0 | 39.5 | 387 | | |
| Pb | 7.65 | 8.25 | 6.62 | 7.18 | 7.69 | 7. 59 | 6.91 | 7.10 | 8.89 | 10.3 | 12.0 | 9.09 | 10.1 | 10.5 | 9.12 | | |
| Zn | 34.6 | 15.2 | 14.3 | 11.9 | 18.0 | 18.2 | 19.5 | 17.5 | 72.1 | 77.5 | 67.0 | 73.2 | 69.1 | 71.7 | 77.0 | | |
| Mo | 0.78 | 0.66 | 0.54 | 0. 79 | 0.68 | 0.88 | 1.09 | 0.92 | 0.40 | 0.44 | 0.50 | 0.87 | 0.34 | 0.31 | 0.44 | | |
| V | 106 | 41.4 | 36.0 | 39.5 | 44.2 | 40.1 | 47.3 | 55.5 | 206 | 212 | 211 | 199 | 196 | 194 | 208 | | |
| Ni | 12.3 | 1.92 | 3.30 | 2.07 | 2.18 | 1.93 | 1.77 | 3.58 | 72.7 | 70.9 | 67.9 | 72.5 | 65.9 | 61.0 | 71.3 | | |
| Co | 6.78 | 2.45 | 2.83 | 2.36 | 2.66 | 3.15 | 3.18 | 3.81 | 23.8 | 23.4 | 20.3 | 22. 1 | 21.3 | 20.6 | 24.5 | | |
| Y | 8.26 | 4.82 | 5.19 | 4.57 | 4.89 | 6. 39 | 7.43 | 6.94 | 11.5 | 12.2 | 13.2 | 13.2 | 11.6 | 11.1 | 13.5 | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | |

 $\exists : A/CNK = n(Al_2O_3)/[n(CaO) + n(Na_2O) + n(K_2O)]; A/NK = n(Al_2O_3)/[n(Na_2O) + n(K_2O)]_{\circ}$



元素球粒陨石标准化分布曲线图上(图7),均表现 为轻稀土富集且轻稀土较重稀土分异显著的左陡右 缓的右倾型。它们的 Eu 异常有一定差异,黑云母 闪长岩无明显铕异常(δEu = 0.89~1.03),正长斑 岩具有显著 Eu 正异常(δEu = 1.10~1.73)。

所有样品的 Ba、Sr、Rb、Th、Pb 等大离子亲石元 素(LILE)含量较高,Nb、Ta、Y 和 Yb 等高场强元素 的含量偏低。除了正长斑岩个别样品外,其余所有 样品的 Sr/Y 比值(55.5~79.5,黑云母闪长岩;46.7 ~61.3,正长斑岩)明显大于 40。在微量元素原始 地幔标准化图解上(图 7),两岩体显示了较为一致 的曲线分布模式,即 Rb、K、Pb、Sr 和 Zr 明显正异 常,Th、U、Nb、Ta、Ti 的明显负异常,与岛弧岩浆岩的 特点一致。此外,黑云母闪长岩的 Cu、Co、Ni 和 Zn 的含量也明显高于正长斑岩的相应元素含量。矿区 出露的石英闪长岩与黑云母闪长岩具有一致的微量



图 5 老山口铁铜金矿区花岗质岩体 SiO₂—K₂O 图解 (据 Rollinson, 1993)

Fig. 5 SiO_2 versus K_2O diagrams for granitoids of the Laoshankou iron—copper deposit (After Rollinson, 1993)

元素特征,暗示了可能具有一致的源区(张希兵等, 2011)。

5 讨论

5.1 岩浆来源及演化

黑云母闪长岩富集大离子亲石元素,亏损 Nb、 Ta、Ti 等高场强元素,显示了岛弧岩浆岩和受地壳 混染的板内(大洋板内和大陆板内)岩石特征。它 们极低的 TiO₂(<1.01%)含量和轻稀土元素富集 程度又与板内岩石特征有异,而且 Ba 含量(776 × $10^{-6} \sim 1083 \times 10^{-6}$)和 Sr 含量(733 × $10^{-6} \sim 954 \times 10^{-6}$)明显高于大陆地壳岩石的 Ba 含量(390 × 10^{-6})和 Sr 含量(325×10^{-6}),表明受陆壳混染较 弱。它们高的 Sr 含量($Sr > 400 \times 10^{-6}$)、Al₂O₃含量 (>15%)以及低的 Y(<18 × 10^{-6})、Yb(<1.8 × 10^{-6})和 HREE 含量,与由俯冲板片熔体交代的地 幔楔产生的熔体特征一致,但高钾质特征又与之有





Fig. 6 A/NK versus A/CNK plot for granitoids of the Laoshankou iron—copper deposit (After Maniar and Piccoli, 1989)

一定的区别,表明他们可能是俯冲洋壳熔融的产物。 它们 MgO 的含量(3.79%~4.41%), Mg[#]值(52~ 57)以及 Cr 含量(134×10⁻⁶~166×10⁻⁶)和 Ni 含 量(61×10⁻⁶~73×10⁻⁶),高 Mg[#]和 Ni 含量特点表 明其岩浆经历了与地幔楔的相互作用(Rapp and Watson, 1995)。本研究中黑云母闪长岩富含钾质, 可能是由于地幔楔中含有钾质矿物所致,因为东准 噶尔北缘自泥盆纪以来一直存在有钾质岩石(袁超 等,2006;谭佳奕等,2009),其高钾更可能是源区固 有的特征。

正长质岩石可以由富集的岩石圈地幔熔融形成 (Kumar et al., 2007),碱性玄武质岩浆分离结晶形 成(Brown and Becker, 1986),下地壳岩石在流体参 与下或者加厚的下地壳在较大压力的封闭体系中经 低程度部分熔融产生(Tchameni et al., 2001),也可 以由幔源基性岩浆和壳源的酸性岩浆混合产生 (Litvinovsky et al., 2002),但是越来越多的研究表 明,地幔岩浆的贡献是不可缺少的(周凌和陈斌, 2005)。黑云母闪长岩与正长斑岩在空间上紧密相 伴,且正长斑岩呈脉状侵入,晚于黑云母闪长岩的侵 位。它们的稀土元素和微量元素分布型式相似,暗 示可能具有某种成因联系,即正长斑岩可能与黑云 母闪长岩具有相似源区岩石的部分熔融,或者由其 结晶分异形成。在 La—La/Sm 图解(图略)表明主 要受结晶分异作用控制。所有样品具有比黑云母闪 长岩低的 CaO、MgO、TFeO、Cr、Ni、Co 含量,高的 Al₂ O₃、K₂O 和 Na₂O 含量,并且主量元素在 SiO₂含量 60% 处有转折点,表明岩浆的演化分为两个阶段,早 阶段以铁镁质矿物分离结晶为主,这与黑云母闪长 岩的演化特征一致。结合野外及年代学资料,正长 斑岩为黑云母闪长岩发生铁镁质矿物分离结晶后的 残余岩浆演化的产物。正长斑岩的 SiO₂与 MgO、 CaO、TiO₂、P₂O₅、Al₂O₃、和 TFe₂O₃具有良好的负相 关,表明岩浆在演化过程中发生了角闪石和磷灰石 的分离结晶以及有钾长石的堆晶。Eu 正异常可能 是发生了钾长石的堆晶和角闪石、磷灰石分离结晶 的结果。综上所述,黑云母闪长岩为受俯冲的洋壳 板片熔体交代的地幔楔熔体上升侵位的结果,该母 岩浆在侵位过程中发生了辉石和角闪石的分离结晶 作用,残余岩浆形成了本区的正长斑岩。

5.2 构造背景

前已述及,本次研究的黑云母闪长岩与正长斑 岩属高钾碱性—钙碱性系列岩石。高钾质岩石可以 形成于大洋岛弧、大陆弧、后碰撞弧(莫宣学等, 2001)以及板内环境(Nelson, 1992; Marc, et al., 2002)。

近年来,前人对东准噶尔地区地质构造演化进行了大量的研究,并取得了很大的进展,认为东准噶尔地区古生代经历了大洋扩张、板块俯冲、碰撞和后碰撞过程。对于准噶尔古大洋的闭合时限(李锦轶等,2006;龙晓平等,2006;张永等;2010)、古大洋俯冲的方向(许继峰等,2006;张招崇等,2001;张海祥等,2004;袁超等,2006;张招崇等,2006)尚存有争议,但是该区在中泥盆世时期处于俯冲消减环境已逐渐达成共识(杨文平等,2005;张招崇等,2005;蔡劲宏等,2007;苏慧敏等,2008;赵战锋等,2009)。

所有样品表现出高碱、富钾、富集 LREE 和大离 子亲石元素(LILE),明显亏损 Nb、Ta、Ti 等高场强 元素(HFSE),与形成于与俯冲带相关的高 K/Ti— 低 Ti 钾质岩石非常类似,与板内的低 K/Ti—高 Ti 钾质岩石的特征明显不同(Rogers,1992)。泥盆纪 东准噶尔北缘地区出现造山带特有的钙碱性岩浆 岩—高钾钙碱性岩浆岩—碱性岩浆岩组合,且研究 区的北塔山组中发现了苦橄岩,表明北塔山组火山 岩形成于岛弧环境(张招崇等,2005)。

本次研究的黑云母闪长岩与闪长玢岩形成于中 泥盆世(379Ma,吕书君等,2012a),与研究区相邻的 希勒克特哈腊苏花岗闪长斑岩(375Ma;吴淦国等, 2008)、喀腊萨依闪长斑岩(379Ma;张招崇等,



图 7 老山口铁铜金矿区花岗质岩体稀土元素球粒陨石标准化模式图(a、c、e)和微量元素原始地幔标准化模式图(b、d、f) Fig. 7 Plots of chondrite-normalized REE patterns and plots of primitive mantle-normalized trace elements patterns for granitoids of the Laoshankou iron—copper deposit

球粒陨石值据 Taylor et al., (1985), 原始地幔值据 Sun and McDonough (1989)

Chondrite values after Taylor et al. , (1985) , normalizing factors after Sun and McDonough (1989)

2006)、玉勒肯哈腊苏斑状花岗岩(381.6Ma;赵战锋 等,2009)、北塔山组辉斑玄武岩(381Ma;柴凤梅等, 2012)属同一岩浆活动的产物,而希勒克特哈腊苏 花岗闪长岩形成于板块俯冲环境(张招崇等, 2006),由此可见,黑云母闪长岩与闪长玢岩、正长 斑岩也形成于板块俯冲环境。石英闪长岩与巴塔玛 依内山组火山岩(350Ma;谭佳奕等,2009)为同期岩 浆活动的产物。

综合前人研究成果,老山口铁铜金矿区的中一 晚泥盆世岩浆作用过程可能是:在泥盆纪古大洋俯 冲消减过程中,俯冲板片脱水产生的流体交代上覆 地幔楔,脱水洋壳密度增大导致大洋板块继续向下 俯冲而发生变质,并在重力作用下引起板片断离,导 致软流圈地幔物质上涌,从而促使俯冲板片熔融产 生熔体,这些俯冲板片熔体进一步交代上覆地幔楔, 被板片流体和熔体交代的地幔楔在局部拉张环境中 产生减压熔融形成黑云母闪长岩和闪长玢岩的原始 岩浆,深侵位形成黑云母闪长岩,这些原始岩浆经过 辉石和角闪石的分离结晶作用形成正长斑岩母岩 浆,其经浅侵位形成正长斑岩;由于持续拉张作用, 在晚泥盆世形成了石英闪长岩母岩浆,该岩浆上侵 形成石英闪长岩体。

6 结论

(1)老山口铁铜金矿区闪长质岩体属于钾玄岩 系列岩石,富集大离子亲石元素和轻稀土元素,亏损 Nb,Ta和Ti等岛弧岩石特征,是板块俯冲作用的产物。

(2)老山口铁铜金矿区出露的黑云母闪长岩是 俯冲板片熔体和富含钾的地幔楔熔体深侵位的产物,正长斑岩为黑云母闪长岩原始岩浆经角闪石和 辉石的分离结晶后又经钾长石堆晶和角闪石残余岩 浆浅侵位的产物。

致谢:野外期间得到新疆地质矿产勘查开发局 第四地质大队、中国人民武装警察部队黄金第八支 队的支持。样品的主量元素、微量及稀土元素由中 国科学院地质与地球物理研究所靳新娣、李禾等老 师完成,在此一并表示感谢。

注释 / Notes

- 新疆维吾尔自治区地质矿产局第一区调队. 1978. 富蕴幅1: 20 万区域地质调查报告.
- 新疆维吾尔自治区地质矿产局第四地质大队. 2003. 新疆青河县 区域地质调查报告.
- 新疆有色地质勘查局地球物理探矿队. 2005. 新疆青河县老山口 矿区地质调查报告.

参 考 文 献 / References

- 程剑. 2004. 新疆青河县老山口金铜铁矿区 IV 矿段地质特征及成因 探讨. 新疆有色金属, (S1): 22~25.
- 陈毓川,刘德权,王登红,唐延龄,周汝洪,陈振宇. 2004. 新疆北准 噶尔苦橄岩的发现及其地质意义. 地质通报,23(11):1059~ 1065.
- 柴凤梅,杨富全,刘锋,耿新霞,吕书君,姜丽萍,藏梅,陈斌. 2012. 新疆准噶尔北缘北塔山组火山岩年龄及岩石成因.岩石学报,28 (7):2183~2198.
- 蔡劲宏,杜杨松,李顺庭. 2007. 阿尔泰山南缘中泥盆世苦橄岩中单 斜辉石的成分特征及其地质意义. 岩石矿物学杂志,23(11):

1059 ~1065.

- 何国琦,李茂松,刘德权. 1994. 中国新疆古生代地壳演化及成矿. 乌鲁木齐:新疆人民出版社.
- 韩宝福,季建清,宋彪,陈立辉,张磊. 2006. 新疆准噶尔晚古生代陆 壳垂向生长(I) - -后碰撞深成岩浆活动的时限. 岩石学报,22 (5):1077~1086.
- 刘伟. 1990. 中国新疆阿尔泰花岗岩的时代及成因类型特征. 大地 构造与成矿学,14(1):43~56.
- 刘家远. 2001. 新疆青河老山口地区岩浆隐蔽爆破作用、爆破角砾 岩及成矿意义,新疆地质,19(4):241~245.
- 路远发. 2004. Geo Kit: 一个用 VBA 构建的地球化学工具软件包. 地球化学,33(5): 459~464.
- 龙晓平,孙敏,袁超. 2006. 东准噶尔石炭系火山岩的形成机制及其 对准噶尔洋盆闭合时限的制约. 岩石学报,22(1):31~40.
- 李锦轶,何国琦,徐新,李华芹,孙桂华,杨天南,高立明,朱志新. 2006. 新疆北部及邻区地壳构造格架及其形成过程的初步探 讨. 地质学报,50(1):148~165.
- 李泰德,王梓嘉. 2009. 新疆青河县老山口矿区 IV 矿段铁铜金矿成 矿特征分析. 新疆有色金属,(2): 19~25.
- 路彦明,聂凤军,范俊杰,云飞,李成文. 2009. 东准噶尔盆地东北缘 发现氧化铁型铜一金(IOCG)矿床. 地球学报,30(2):277~ 278.
- 龙灵利,王京彬,王玉往,王莉娟,王书来,蒲克信.2009. 新疆富蕴 地区希勒库都克铜钼矿床含矿斑岩的年代学与地球化学特征. 地质通报,28(12):1841~1851.
- 吕书君,杨富全,柴凤梅,张希兵,姜丽萍,刘锋,张志欣,耿新霞,欧阳 刘进. 2012a. 东准噶尔北缘老山口铁铜金矿区侵入岩 U-Pb 定 年及地质意义. 地质论评,58(1):149~164.
- 吕书君,张志欣,杨富全,柴凤梅,张希兵,刘锋,姜丽萍,耿新霞. 2012b. 准噶尔北缘老山口铁铜金矿床成矿流体及成矿机制. 矿床地质,31(3):517~534.
- 莫宣学,邓晋福,董方浏,喻学惠,王勇,周肃,杨伟光. 2001. 西南三 江造山带火山岩一构造组合及其意义. 高校地质学报,7(2): 121~138.
- 聂凤军,江思宏,路彦明. 2008. 氧化铁型铜一金(IOCG)矿床的地质 特征、成因机理与找矿模型. 35(6):1074~1087.
- 邱家骧. 1991. 应用岩浆岩岩石学. 武汉:中国地质大学出版社, 225~248.
- 忻建刚,袁奎荣,刘家远. 1995. 新疆东准噶尔北部碱性花岗岩的特征、成因及构造意义. 大地构造与成矿学,19(3):214~226.
- 苏玉平,唐红峰,刘丛强,侯广顺,梁莉莉.2006.新疆东准噶尔苏吉 泉铝质 A 型花岗岩的确立及其初步研究.岩石矿物学杂志,25 (3):175~184.
- 苏玉平,唐红峰,丛峰. 2006. 新疆东准噶尔黄羊山碱性花岗岩体的 锆石 U-Pb 年龄和岩石成因. 矿物学报,28(2):117~126.
- 苏慧敏,张东阳,艾羽. 2008. 张招崇阿尔泰南缘中泥盆世北塔山组 火山岩中单斜辉石的矿物学研究及其地质意义. 地质学报,28 (2):117~126.
- 谭佳奕,吴润江,张元元,王淑芳,郭召杰. 2009. 东准噶尔卡拉麦里 地区巴塔玛依内山组火山岩特征和年代确定. 岩石学报,25 (3):539~546.
- 王道永,邓江红. 1995. 东淮噶尔地区板块构造特征及演化. 成都理 工学院学报,22(4):38~45.
- 吴淦国,董连慧,薛春纪. 2008. 新疆北部主要斑岩铜矿带. 北京: 地质出版社,1~335.
- 肖序常,汤耀庆,李锦轶. 1992. 新疆北部及邻区大地构造. 北京: 地质出版社.
- 肖庆辉,李晓波,贾跃明. 1995. 当代造山带研究中值得重视的若干

前沿问题. 地学前缘,2:42~50.

- 许继峰,梅厚钧,于学元,白正华,牛贺才. 2001. 准噶尔北缘晚古生 代岛弧中与俯冲作用有关的 adakite 火山岩: 消减板片部分熔 融的产物. 科学通报,46(8):684~688.
- 薛春纪,赵战锋,吴淦国,董连慧. 2010. 中亚构造多期叠加斑岩铜 矿化:哈腊苏铜矿床地质、地球化学和成岩成矿时代研究为例. 地学前缘,17(2):53~82.
- 杨金明. 1997. 新疆青河县老山口一布尔根金矿类型及成矿找矿模 式. 新疆有色金属,(4):9~13.
- 喻亨祥,夏斌,郑永飞,刘家远,胡承琦. 2001. 新疆老山口金矿岩浆 隐爆角砾岩地质地球化学. 地质地球化学,29(4):21~26.
- 杨文平,张招崇,周刚. 2005. 阿尔泰铜矿带南缘希勒克特哈腊苏斑 岩铜矿的发现及其意义. 中国地质,32(1):107~114.
- 袁超,肖文交,陈汉林. 2006. 新疆东准噶尔扎河坝钾质玄武岩的地 球化学特征及其构造意义. 地质学报,80(2): 254~263.
- 应立娟. 2007. 新疆乔夏哈拉铁铜金矿床地质、地球化学特征与成 因研究. 中国地质科学院.
- 杨高学,李永军,司国辉,吴宏恩,金朝. 2010. 新疆贝勒库都克铝质 A 型花岗岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄、地球化学及其成因. 地 质学报,84(12):1759~1769.
- 张海祥,牛贺才,Hiroaki Sato,单强,于学元,Jun'ich Ito,张旗. 2004. 新疆北部晚古生代埃达克岩、富铌玄武岩组合:古亚洲洋板块南 向俯冲的证据. 高校地质学报,10(1):108~117.
- 周汝洪,应立娟,梁婷,刘德权,唐延龄,王登红. 2005. 新疆北准噶 尔乔夏哈拉—老山口苦橄岩建造及其构造意义. 新疆地质,23 (4):319~325.
- 张招崇,闫升好,陈柏林,周刚,何永康,柴凤梅,何立新. 2005. 阿尔泰造山带南缘中泥盆世苦橄岩及其大地构造和岩石学意义.地球科学,30(3):289~297.
- 张招崇, 闫升好, 陈柏林, 周刚, 贺永康, 柴凤梅, 何立新, 万渝生. 2006. 新疆东准噶尔北部俯冲花岗岩的 SHRIMP U-Pb 锆石定 年. 科学通报, 51(13):1565~1574.
- 周刚,张招崇,谷高中,杨文平,何斌,张小林,罗世宾,王祥,贺永康. 2006. 新疆东淮噶尔北部青格里河下游花岗岩类的时代及地质 意义.现代地质,20(1):141~150.
- 周刚,吴淦国,董连慧,张招崇,董永观,童英,何立新,应立娟. 2009. 新疆准噶尔北东缘乌图布拉克岩体形成时代、地球化学特征及 地质意义. 岩石学报,25(6):1390~1402.
- 张海洋,沈晓明,马林,牛贺才,于学元.2008.新疆北部富蕴县埃达 克岩的同位素年代学及其对古亚洲洋板块俯冲时限的制约.岩 石学报,24(5):54~58.
- 赵战锋,薛春纪,张立武,温长顺,周刚,刘国仁. 2009. 新疆青河玉 勒肯哈腊苏铜矿区酸性岩锆石 U-Pb 法定年及其地质意义. 矿 床地质,28(4):425~433.
- 张永,梁广林,屈迅,杜世俊,吴琪,张征峰,董连慧,徐兴旺. 2010. 东准噶尔琼河坝岛弧早古生代岩浆活动的锆石 U-Pb 年龄和 Hf 同位素证据. 岩石学报,26(8):2389~2398.
- 张希兵,杨富全,刘锋,吕书君,姜丽萍. 2011. 新疆东准噶尔北缘托 斯巴斯套闪长岩体地球化学特征及成因. 新疆地质,29(2): 119~124.
- 周凌,陈斌. 2005. 南太行洪山正长斑岩体的成因和意义: 锆石 SHRIMP 年代学、化学成分和 Sr—Nd 同位素特征. 自然科学进 展,15(11): 1357~1365.
- Brown P E and Becker S M. 1986. Fractionation, hybridization and magma-mixing in the Kialineq centre East Greenland. Contrib. Miner. Petrol., 92: 57 ~ 70.
- Chen Bin, Jahn B M. 2004. Genesis of post-collisional granitoids and basement nature of the Junggar Terrane, NW China: Nd-Sr isotope

and trace element evidence. J. Asian Earth Sci. , 23 ; 691 ~703. Cox K G. 1979. The Interpretation of Igneous Rocks. Allen and Unwin, 1 ~450.

- Han Bao Fu, Wang Shi Guang, Jahn Bor-ming et al. 1997. Depletedmantle source for the Ulungur River A-type granites from North Xinjiang, China: geochemistry and Nd—Sr isotopic evidence, and implication for Phancrozoic crustal growth. Chemical Geology, 138: 135~159.
- Jahn B M, Windley B F, Natal' in B and Dobretsov N. 2004. Phanerozoic continental growth inCentral Asia. Journal of Asian Earth Science, 23: 599 ~603.
- Jahn B M. 2001. The third workshop of IGCP-420, continental growth in Phanerozoic: evidence fromCentral Asia. Episode, 24: 272 ~ 273.
- Kumar K V, Frost C D, Frost B R and Chamberlam K R. 2007. The Chimakurti, Errakonda and Uppalapada plutons, Eastern GhatsBelt, India: an unusual association of tholeiitic and alkaline magmaism. Lithos, 97: 30 ~ 57.
- Li Jinyi, Xiao Wenjiao, Wang K. 2003. Neoproterozoic to Paleozoic tectonostratigraphy, magmatic activities and tectonic evolution of eastern Xinjiang, NW China. In: Mao Jing Wen, Goldfarb R J, Seltmann R, et al. eds. Tectonic Evolution and Metallogeny of the Chinese Altay and Tianshan, Guidebook Series, London, 10: 31 ~ 74.
- Litvinovsky B A, Jahn B M, Zanvilevich A N and Shadaev M G. 2002. Crystal fractionation in the petrogenesis of an alkali monzodiorite syenite series: The oshurkovo plutonic sheeted complex, TransbaikMalia, Russia. Lithos, 64: 97 ~ 130.
- Maniar P D and Piccoli P M. 1989. Tectonic discrimination of granitoids. Geological Society of America Bulletin, 101: 635 ~ 643.
- Marc J D, Xu Jifeng, Pavel K. 2002. Adakites: Some variation on a theme. Acta Petrologica Sinica , 18 (2) : 129 ~ 140.
- Nelson D R. 1992. Isotopic characteristics of potassic rocks: Evidence for the involvement of subducted sediments in magma genesis. Lithos, 28: 403 ~ 420.
- Rapp R P and Watson E B. 1995. Dehydration melting of metabasalt at 8 ~32 kbar: Implications for continental growth and crust—mantle recycling. J. Petrol., 36: 891 ~931.
- Rogers N W. 1992. Potassic magmatism as a key to trace element enrichment processes in the upper mantle. J. Volcan. Geother. Research on Chemical., 50: 85 ~99.
- Rollinson H R. 1993. Using Geochemical Data: Evaluation, Presentation, Interpretation. England: Longman Scientific & Technical, Harlow, United Kingdom, 1 ~ 352.
- Sengor M C, Natal' in B A and Burtman V S. 1993. Evolution of the Altaid tectonic collage and Paleozoic crustal growth inEurasia. Nature, 364: 299 ~ 307.
- Sun S S and McDonough W F. 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. In: Saunders A D, Norry M J. eds. Magmatism in the Ocean Basins. Geological Society. London, 42: 313 ~ 345.
- Taylor S R and Mclenann S M. 1985. The Continental Crust: Its Composition and Evolution. Oxford: Oxford Press, 1 ~312.
- Tchameni R, Mezger K, Nsifa N E and Pouclet A. 2001. Crustal origin of Early Proterozoic syenites in the Congo Craton (Ntem Complex), South Cameroon. Lithos, 57: 2~42.
- Windley B F, Alexeiev D, Xiao W, Kroner A and Badarch C. 2007. Teetonic models for accretion of the Central Asian Orogenic Belt. Journal of Geological Society, London, 164: 31 ~47.

- Windley B F, Kroner A, Guo J, Qu G S, Li Y Y and Zhang C. 2002. Neoproterozoic to Paleozoic geology of the Altai orogen, NW China: New zircon age data and tectonic evolution. Journal of Geology, 110; 719 ~ 739.
- Xiao Wenjiao, Windley B F, Badarch G. 2004. Palaeozoic accretionary and convergent tectonics of the southern Altaids: implications for the growth of Central Asia. Journal of Geological Society, London, 161: 339 ~ 342.

Geochemical Features of Granitoids in Laoshankou Ore-district on Northern Margin of East Junggar, Xinjiang

LÜ Shujun^{1,2)}, YANG Fuquan³⁾, CHAI Fengmei⁴⁾, GENG Xinxia³⁾

No. 407 Team of Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development of Hunan Province, Huaihua, Hunan, 418000;
2) China University of Geosciences, Beijing, 100083;

3) Key Laboratory of Metallogeny and Mineral Assessment, Ministry of Land and Resources, Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037;

4) Xinjiang Key Laboratory for Geodynamic Processes and Metallogenic Prognosis of the Central Asian Orogenic Belt, Xinjiang University, Urumqi, 830049

Abstract: The Laoshankou granitoids located on the northern margin of the Junggar, Xinjiang, are composed of diorite, adamellite, syenite porphyry and diorite (porphyrite). Geochemical characteristics of biotite diorite and syenite porphyry show that the concentration of SiO₂ of biotite diorite is 54. 43% ~ 55. 10%, Al₂O₃ 16. 92% ~ 17. 64% and CaO 5. 35% ~ 5. 94%. They are high in total alkali (K₂O + Na₂O) content (9. 00% ~ 9. 43%) and enriched in potassic (K₂O/Na₂O = 1. 32 ~ 1. 74). Compared with biotite diorite, the syenite porphyry is high in the concentrations of SiO₂ (59. 96% ~ 63. 60%), Al₂O₃ (18. 15% ~ 19. 13%) and Mg[#] (51. 95 ~ 55. 96), total alkali (K₂O + Na₂O = 11. 81% ~ 13. 17%), and low in the concentrations of CaO(1. 13% ~ 2. 47%) and Mg[#] (30. 16 ~ 48. 20), K₂O/Na₂O ratio (1. 1 ~ 1. 53). They are belong to shoshonitic high-K alkaline granitoids. In addition, they display noticeable enrichment on LREE, Rb, K, Pb, Sr and Zr, obvious depleted in Nb, Ta and Ti. These features, together with the regional geology characteristics, indicate that Laoshankou granitoids are formed under a subducted tectonic setting. The parental magma of syenite porphyry was residual melt left by clinopyroxene and amphibole fractional crystallization from biotite diorite parental magma derived from the mixed melt of riched potassium minerals mantle peridotites and subducted oceanic slab.

Key words: granitoids; geochemistry; petrogenesis; Laoshankou; the northern margin of East Junggar

王德有"河南省几个中生代地层问题的讨论"一文的订正启示

因编辑和作者不慎,《地质论评》2013 年 59 卷第 4 期王 德有"河南省几个中生代地层问题的讨论"一文中,有几处错 误,特作订正如下并向读者致歉:(1) 内容提要第二行、正文 601 页右列第 5 行、表 1"汝阳凹陷"栏中等三处"下东沟组" 均改为"上东沟组";606 页英文摘要第4行,"Xiadonggou Fm."改为"Shangdonggou Fm."。(2)正文602 页左列第8 行,603 页左列第5行两处"谭头盆地"改为"潭头盆地"。