

新疆喀喇昆仑喀拉果如木铜矿成矿岩体地球化学和锆石年代学*

吴玉峰^{1,2} 王核^{1**} 黄朝阳^{1,2} 胡军^{1,2} 刘建平³ 任广利⁴

WU YuFeng^{1,2}, WANG He^{1**}, HUANG ChaoYang^{1,2}, HU Jun^{1,2}, LIU JianPing³ and REN GuangLi⁴

1. 中国科学院广州地球化学研究所矿物学与成矿学重点实验室, 广州 510640

2. 中国科学院大学, 北京 100049

3. 有色金属成矿预测教育部重点实验室, 中南大学地球科学与信息物理学院, 长沙 410083

4. 中国地质调查局西安地质调查中心, 西安 710054

1. Key Laboratory of Mineralogy and Metallogeny, Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, China

2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

3. Key Laboratory of Metallogenic Prediction of Nonferrous Metals, Ministry of Education, School of Geosciences and Info-physics, Central South University, Changsha 410083, China

4. Xi'an Center of Geological Survey, China Geological Survey, Xi'an 710054, China

2012-09-08 收稿, 2012-12-10 改回.

Wu YF, Wang H, Huang CY, Hu J, Liu JP and Ren GL. 2013. Geochemistry and geochronology of the Kalaguorum porphyry Cu-mineralized intrusions, Karakorum Mountains, Xinjiang. *Acta Petrologica Sinica*, 29(1): 205–216

Abstract The Kalaguorum polymetallic porphyry copper deposit is newly-discovered in the Karakorum area. The copper mineralization occurs in the monzonitic granite-porphyry, characterized by veinlet, disseminated and spotted ore types. The major ore minerals are chalcopyrite, with a small amount of pyrite, bornite and arsenopyrite. The wall rock alteration includes silicification, phyllic and propylitic alterations, which are similar to those of the porphyry Cu deposits. The monzonitic granite porphyry is mainly composed of plagioclase, potash feldspar, quartz, biotite and altered mafic minerals. Geochemical analyses indicate that the rocks contain high contents of SiO₂, Al₂O₃, K₂O and Na₂O, low contents of CaO and TiO₂, belonging to the high-K calc-alkaline series. These rocks are relatively enriched in large ion lithophile elements (LILE), depleted in high field strength elements (HFSE) and heavy rare earth elements (HREE). They commonly have Nb and Ta negative anomalies and show metaluminous to weakly peraluminous features. Geochemical signatures of strong magmatic crystallization differentiation have also been identified, supported by trace elements with syn- to post-collision granites features. Zircon U-Pb (LA-ICP-MS) dating of the granite yields the weighted average ²⁰⁶Pb/²³⁸U age of 189.3 ± 2.8 Ma, indicating that the mineralization and its causative magmatism occurred in the Early Jurassic. Combining with regional geology, this study considers that the Kalaguorum porphyry Cu deposit was formed in the post-collisional extension setting after Paleo-Tethys closure between the Karakorum-Tianshuihai and southern Kunlun terranes during the period of Late Triassic to Early Jurassic.

Key words Geochemistry; Geochronology; Collisional orogeny; Porphyry copper deposit; Kalaguorum copper deposit; Karakorum

摘要 喀拉果如木铜矿是近年在新疆喀喇昆仑地区发现的铜多金属矿。铜矿化赋存在二长花岗斑岩中, 矿石呈细脉浸染状、斑点状。矿石矿物主要为黄铜矿, 少量黄铁矿、斑铜矿和毒砂。围岩蚀变有硅化、绢云母化和青磐岩化, 具有与斑岩铜矿类似的蚀变组合。二长花岗斑岩主要由斜长石、钾长石、石英、黑云母及蚀变的暗色矿物组成。二长花岗斑岩的 SiO₂ (67.28% ~ 73.08%)、Al₂O₃ (13.38% ~ 15.53%)、K₂O (2.92% ~ 6.15%) 和 Na₂O (2.78% ~ 4.89%) 含量较高, CaO 和 TiO₂ 含

* 本文受国家“十二五”科技支撑项目(2011BAB06B05-01)及中国科学院广州地球化学研究所“135”布局项目(Y234021001)联合资助。

第一作者简介: 吴玉峰, 男, 1983年生, 博士生, 矿物学、岩石学、矿床学专业, E-mail: sdwyufeng02@163.com

** 通讯作者: 王核, 男, 1966年生, 研究员, 主要从事成矿预测研究, E-mail: wanghe@gig.ac.cn

量较低,属于高钾钙碱性系列;富集大离子亲石元素(LILE),亏损高场强元素(HFSE)和重稀土元素,Nb和Ta负异常,显示准铝质-弱过铝质过渡的特点,岩浆结晶分异作用明显,具有陆缘弧花岗岩的地球化学亲缘性,微量元素显示其为同碰撞-后碰撞花岗岩。成矿岩体锆石 LA-ICP-MS 测年结果为 189.3 ± 2.8 Ma,成岩成矿作用发生在早侏罗世。结合区域地质演化,本文认为喀拉果如木铜矿形成于南昆仑地体与喀喇昆仑-甜水海地体之间的古特提斯洋消减闭合之后的后碰撞伸展背景,喀喇昆仑在晚三叠世-早侏罗世进入后碰撞造山时期。

关键词 地球化学;年代学;碰撞造山;斑岩铜矿;喀拉果如木铜矿;喀喇昆仑

中图法分类号 P597.3; P618.41

1 引言

斑岩铜矿因其规模大、埋藏浅、易开采等特点而成为全球最主要的铜矿床类型(芮宗瑶等,2006;王奖臻等,2001),斑岩铜矿床提供了世界上3/4的铜,1/2的钼,1/5的金,大部分的铷和少量其他金属如:银、钡、碲、硒、铋、锌和铅(Sillitoe,2010)。全球大型-巨型斑岩铜矿多数产于岩浆弧(岛弧、陆缘弧)环境,含矿斑岩岩浆起源与大洋板块的俯冲作用有关(Sillitoe,1972,1976;Richards,2003)。我国学者研究表明,大陆碰撞造山过程中同样可以形成斑岩铜金钼矿床等多种类型的成矿系统(陈衍景和富士谷,1992;Chen *et al.*,2004,2005,2007,2012;陈衍景等,2007,2009,2012;陈衍景和李诺,2009;Zhang *et al.*,2012a,b),致使大陆碰撞造山带成矿系统成为国内外矿床研究的前沿和矿床勘查的重要目标(陈衍景,2002,2006;王京彬和徐新,2006;李诺等,2007;Pirajno,2009;侯增谦,2010)。而且,我国学者还发现大陆碰撞造山带与大洋俯冲-增生造山带的同类型矿床之间存在显著的地质地球化学差异(陈衍景等,2009;Li *et al.*,2012;Yang *et al.*,2012,2013)。

西昆仑造山带位于青藏高原西北缘,塔里木盆地的西南缘,构造上处于印度板块与欧亚板块的结合部位,曾经历了俯冲增生造山和大陆碰撞造山的复杂过程,具有斑岩型矿床的找矿潜力,许多学者将斑岩铜矿床作为西昆仑地区的主攻矿床类型之一(董永观等,2003;张洪涛等,2004;董连慧等,2010a,b;申萍等,2010)。最近,西昆仑该区斑岩型矿床的找矿工作取得了重要进展,发现了喀依孜钼矿和小同钼矿(王核等,2008;刘建平,2010a,b)。喀喇昆仑位于西昆仑西部的帕米尔地区,该区地质调查和研究薄弱,喀拉果如木铜矿(王核等,2010)的发现显示了该区的找矿潜力,也为揭示该区斑岩矿床的形成分布规律、地质地球化学特征以及找矿标志提供了研究对象。本文在野外矿床地质调查基础上,开展了成矿岩体岩石学、地球化学及同位素年代学研究,探讨该矿床的成因类型和成矿环境。

2 区域地质

西昆仑造山带位于青藏高原西北缘,新疆塔里木盆地的西南缘,构造复杂,总体呈现北西-南东走向的巨型反“S”状

展布。由北向南由库尔良-可岗缝合带、布伦口-库地-其曼于特缝合带和苏巴士-康西瓦-瓦恰缝合带将西昆仑造山带分为塔里木地块、北昆仑地体、南昆仑地体和喀喇昆仑-甜水海地块(张传林等,2007)。北昆仑地体为塔里木板块边缘,具典型的基底与盖层的地台型双层结构。是在前寒武纪陆壳基底上发育起来的泥盆纪-石炭纪陆缘弧后裂谷盆地;南昆仑地体主体由前震旦系高绿片岩相-角闪岩相变质岩系构成的结晶基底、加里东期和海西期花岗岩组成,在海西-印支期表现为古陆边缘岩浆弧;喀喇昆仑-甜水海地体基底由古元古界深变质岩系和中、新元古界浅变质碎屑岩组成,上部该盖层为寒武纪、奥陶纪地台沉积和志留纪和晚古生代活动大陆边缘沉积。中生代强烈拉张环境,沉积碎屑岩建造和碳酸盐岩建造,并与晚白垩世最终褶皱闭合(孙海田等,2003)。

喀喇昆仑地区出露地层主要有古元古代布伦阔勒群变质地层、志留系、石炭系、二叠系、少量三叠系和第四系残坡物及河道冲积物(图1)。布伦阔勒群主要分布于塔什库尔干河谷以东,为一套富含石榴石、夕线石等特征变质矿物的变质岩系,变质程度达高角闪岩相,可分为含铁岩段、(含石榴子石)斜长角闪片麻岩段、夕线石榴片麻岩-石英岩段、大理岩段等4套变质建造组合。该群原岩为一套中基性火山岩-碎屑岩-碳酸盐岩建造。前苏联曾在西帕米尔与布伦阔勒群相当的变质岩系获得锆石 U-Pb 和全岩 Rb-Sr 等时线 2130~2700Ma 的同位素年龄(王建平,2008)。志留系主要为变质长石石英砂岩,变质细砂岩,变质石英粉砂岩夹少量火山岩,硅质岩、粉晶灰岩等组成。石炭系下部主要为灰色含粉砂泥岩,钙质细粒长石砂岩,含碳硅质岩及含粉砂泥晶灰岩,上部为溢流相火山熔岩,英安岩夹英安质角砾岩的岛弧火山岩构成。二叠系主要分布于塔什库尔干县西南部,为一套碳酸盐岩夹安山质火山岩、细碎屑岩,底部为火山地层,向上过渡为沉积地层。其中,火山地层主要岩性为灰绿色安山质晶屑岩屑凝灰岩和杏仁状玄武安山岩,为弧后断陷盆地火山喷发,该地层中含孢粉化石表明为温水型大陆边缘沉积,局部火山岩夹层同位素年龄为 276.3Ma(河南地质调查院,2004^①)。三叠系主要分布在萨雷阔勒岭一带,主要岩性为黄灰色厚层状含固着蛤泥晶灰岩和黄灰色厚层状泥晶灰岩互层,岩性单一,横向变化不大,为开阔台地沉积。

① 河南地质调查院. 2004. 1:25 万叶城县幅、塔什库尔干县幅区域地质调查成果报告

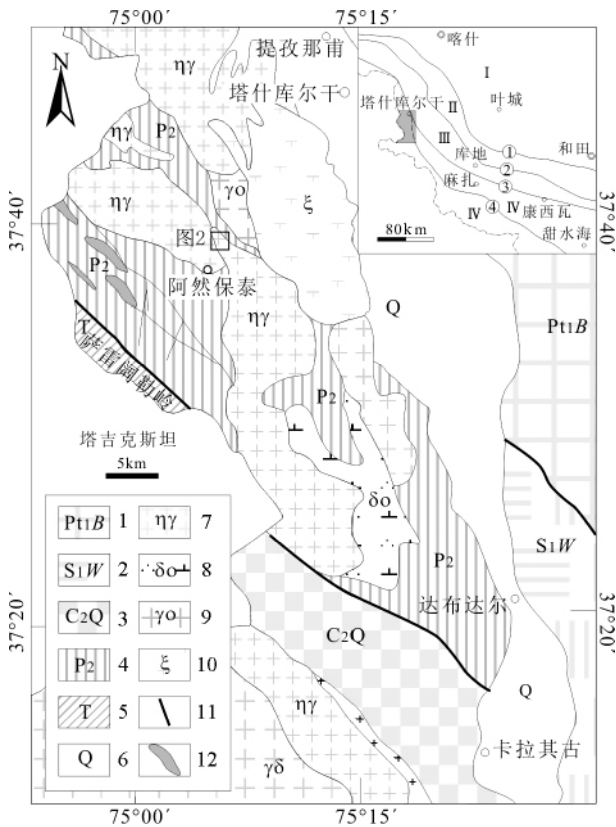


图1 喀喇昆仑阿然保泰地区地质简图(据任广利等, 2010 略修改)

1-古元古界布伦阔勒群; 2-志留系温泉组; 3-石炭系恰提尔群; 4-上二叠统; 5-三叠系; 6-第四系; 7-二长花岗岩; 8-石英闪长岩; 9-英云闪长岩; 10-正长岩; 11-断层; 12-枕状玄武岩; ①-库尔良-可岗缝合带; ②-布伦口-库地-其曼于特缝合带; ③-苏巴士-康西瓦-瓦恰缝合带; ④-喀喇昆仑断裂; I-塔里木地块; II-北昆仑地体; III-南昆仑地体; IV-喀喇昆仑-甜水海联合地体

Fig.1 Geological map of Aranbaotai region in Karakorum (modified after Ren *et al.*, 2010)

1-Paleoproterozoic Bulunkuo Group; 2-Silurian Wenquan Formation; 3-Carboniferous Qiatier Group; 4-Upper Permian; 5-Triassic; 6-Quaternary; 7-monzogranite; 8-quartz diorite; 9-tonalite; 10-syenite; 11-faults; 12-pillow basalt; ①-Kuerliang-Kegang suture; ②-Bulunkou-Kegang-Qimanyute suture; ③-Subashi-Kangxiwa-Waqia suture; ④-Karakorum fault; I-Tarim block; II-northern Kunlun terrane; III-southern Kunlun terrane; IV-Karakorum-Tianshuihai united terrane

本文研究区属于喀喇昆仑地块,位于塔什库尔干河东西两侧。塔什库尔干河沿 NNW 向塔什库尔干断裂发育,塔什库尔干断裂汇合了康西瓦断裂和喀喇昆仑断裂,南北横切西昆仑、帕米尔、喀喇昆仑等构造单元,构成了西昆仑与帕米尔的构造分界线,是青藏高原“西构造结”北部的重要组成部分。因此,研究区断裂构造发育,错综复杂,致使地层的褶皱构造难以准确识别,花岗岩等侵入体与围岩接触带也多表现

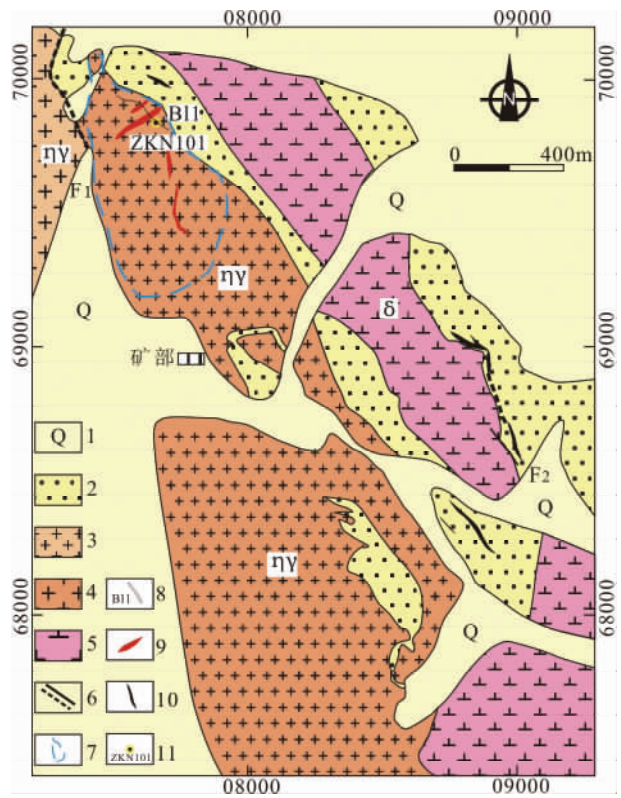


图2 喀拉果如木铜矿区地质简图(据王核等, 2010 略修改)

1-第四系; 2-二叠系; 3-二长花岗岩; 4-二长花岗岩斑岩; 5-闪长岩; 6-断层及推断层; 7-黄铁绢云岩化带; 8-探槽及编号; 9-富铜矿体; 10-铅锌矿体; 11-钻孔

Fig.2 Geologic map of Kalaguorum copper deposit (modified after Wang *et al.*, 2010)

1-Quaternary; 2-Permian; 3-adamellite; 4-monzogranite porphyry; 5-diorite; 6-fault; 7-phyllic alteration zone; 8-exploration trenches; 9-Cu ore; 10-Pb-Zn ore; 11-drill

为断裂构造。加之冰川和第四系沉积物覆盖,本区地质研究程度低,存在问题多。

3 矿区地质

矿区出露地层为二叠系和第四系(图2)。二叠系分布在矿区东北部,分散分布在岩体边部,在岩体中可见大小不等的地层捕掇体,与岩体接触带中发育硅化和褐铁矿化。地层倾向北东,主要由凝灰岩、凝灰质粉砂岩、绢云片岩、黑色片岩、千枚岩、厚层大理岩、厚层灰岩组成,断层和褶皱发育。岩体边部的厚层大理岩控制着铅锌矿的产出。

矿区断裂构造发育, F₁ 断裂分布于矿区北西部,走向北北西,平行于塔什库尔干大断裂,控制了矿区二长花岗岩、闪长岩的侵入,沿断裂带发育褐铁矿化、绢云母化、绿泥石化,局部见角砾岩; F₂ 断裂分布于矿区南部二叠系的片岩、大

表1 BL1剖面二长花岗斑岩Cu品位分析结果(wt%)

Table 1 Cu contents (wt%) of monzonitic granite-porphyry in BL1

样品号	Cu	样品号	Cu	样品号	Cu	样品号	Cu	样品号	Cu
KbI-8	0.008	KbI-13	0.51	KbI-18	0.56	KbI-23	0.038	KbI-28	0.080
KbI-9	0.056	KbI-14	0.48	KbI-19	0.07	KbI-24	0.023	KbI-29	0.013
KbI-10	0.030	KbI-15	0.51	KbI-20	0.26	KbI-25	0.023	KbI-30	0.006
KbI-11	0.082	KbI-16	2.15	KbI-21	0.25	KbI-26	0.024	KbI-31	0.016
KbI-12	0.080	KbI-17	1.63	KbI-22	0.21	KbI-27	0.033	KbI-32	0.008

理岩中,为层间断裂,产状 $63^{\circ}\angle 78^{\circ}$ 控制了铅锌矿化。

矿区侵入岩有二长花岗斑岩、二长花岗岩和闪长岩。闪长岩分布在矿区东部,呈北西向,200~400m宽,长度超过2km,侵入于二叠系中,地质产状、变形和蚀变特征显示其早于二长花岗斑岩体。二长花岗斑岩为含铜矿化岩体,近南北向,宽400~900m,长>3km,岩体东部侵入于二叠系地层,西部大部分被第四系覆盖。岩体普遍发生褐铁矿化,局部地段破碎严重,破碎并褐铁矿化地段为重要含矿带。岩石具斑状结构,块状构造,由斜长石(34%)、钾长石(28%)、石英(32%)、黑云母(6%)组成,副矿物有磷灰石、锆石、钛铁矿等。矿物受应力作用明显,多塑性拉长定向分布。岩石蚀变较强,黄铁矿化常见,岩石节理面上发育镜铁矿。二长花岗岩分布于西北部,是阿然保泰花岗岩基的一分部,侵入于二叠系和二长花岗斑岩,或与二长花岗斑岩呈断层接触。

4 矿床和成矿岩体地质

喀拉果如木矿区发育有铜矿化和铅锌矿化,铜矿化发生于二长花岗斑岩体中(图3a,b),铅锌矿化发生于二叠系地层中。

地表可见铜矿化呈北西向展布,长2.5km,以孔雀石化为标志,初步圈出矿体范围为 $400\times 600\text{m}$ (图2),包含多条富铜矿体。探槽(图4)揭露矿化断续,平均品位0.64%(表1)。岩体北部发育 $800\times 800\text{m}$ 的绢英岩化蚀变带(图2),围岩蚀变以硅化、绢云母化为主。二长花岗斑岩的斜长石多已蚀变成绢云母(图3e),次生石英在长石裂隙中分布(图3f);钻孔样品可见未风化的石英-方解石-黄铁矿-黄铜矿脉体(图3d)。青磐岩化见于矿区东侧接触带上,蚀变较弱。矿区未见钾长石化,推测位于深部。

矿石构造复杂,有细脉状、破碎角砾状(图3c,d)、斑杂状构造;矿石矿物主要是黄铜矿、黄铁矿,少量斑铜矿、毒砂等,矿物多呈他形粒状、浸染状结构。黄铜矿呈他形粒状,粒度较粗,晶内裂纹发育,裂纹处有褐铁矿化(图3g,h)。黄铁矿多为半自形粒状,具有五角十二面体晶型,交代黄铜矿,有些沿裂隙穿入黄铜矿内。氧化矿物有孔雀石和铜蓝。

铅锌矿(化)体位于二长花岗斑岩体东侧的二叠系大理

岩、千枚岩、灰岩及片岩中,地层产状多变,总体为北西走向。矿体或矿化带多受断层控制,常见破碎角砾岩。初步的地质勘查工作发现了规模不等的多条矿体,矿体品位变化大。其中,富矿体多由块状矿石组成,矿脉连续性较好;多数矿体具有角砾状、网脉状构造。矿石矿物主要为方铅矿、闪锌矿、黄铁矿等。

成矿岩体为二长花岗斑岩,块状构造,半自形粒状结构。岩石主要由斜长石、钾长石、石英及蚀变的暗色矿物组成,副矿物有磷灰石、锆石、磁铁矿等。其中,斜长石34%,半自形粒状,发育格子双晶(图3f);钾长石占28%,半自形,可见碎斑,1~6mm不等,遭受绢云母化(图3e);石英32%,他形粒状,分布于斜长石之间;黑云母6%,片状,部分绿泥石化,具有一定的定向分布;角闪石少量,绿泥石和绿帘石交代,残余柱状晶形;金属矿物呈浸染状分布,他形粒状。

5 成矿岩体地球化学

5.1 样品和分析

样品采自北矿区地表及钻孔ZKN101, KL-H14~KL-H23为地表样品, ZKN101B-2~ZKN101B-9为钻孔样品。由于岩体普遍蚀变或风化,部分样品糜棱岩化,分析化学成分不能完全代表岩体地球化学组成。本文用于分析测试的样品尽可能避开了热液蚀变的影响。主量元素分析在中国科学院广州地球化学研究所XRF仪器测试,误差<1%。微量元素分析采用ICP-MS方法, KL-H14~KL-H23和ZKN101B-2~ZKN101B-9分别在中国科学院地球化学研究所和广州地球化学研究所完成,结果见表2。

5.2 岩石化学特征

喀拉果如木矿区二长花岗斑岩 SiO_2 为除KL-H14为75.57%外,其余为67.28%~73.08%, TiO_2 0.18%~0.62%, Al_2O_3 13.38%~15.53%,变化较小, Na_2O 为2.78%~4.89%, K_2O 为2.92%~6.15%,全碱 $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ 为5.70%~9.03%。喀拉果如木铜矿二长花岗斑岩具有较高的 SiO_2 、 Al_2O_3 、 Na_2O 和 K_2O 含量,标准矿物换算在QAP分类图解(图5a)中,岩石落入到二长花岗岩靠近花岗闪长岩的

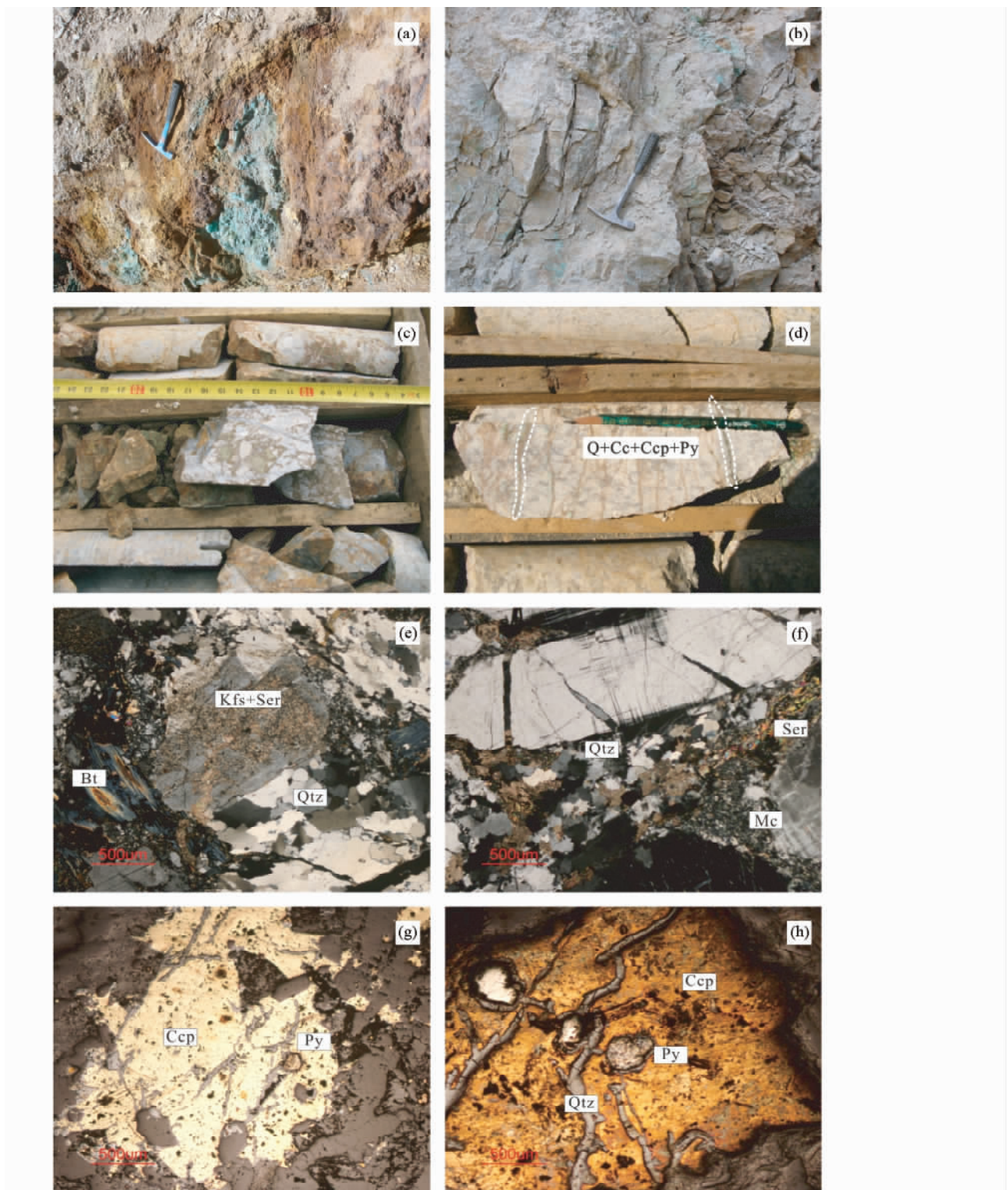


图3 喀拉果如木铜矿野外露头及显微照片

(a) -地表孔雀石, 次生氧化富集带; (b) -剥离含矿岩体; (c) -破碎角砾状铜矿石; (d) -细脉浸染状矿石, 石英 + 方解石 + 黄铁矿 + 黄铜矿化脉; (e) -半自形粒状绢云母化钾长石斑晶, 正交偏光; (f) -微斜长石(Mc)及次生石英, 正交偏光; (g) -他形粒状黄铜矿, 裂隙发育, 含少量半自形粒状黄铁矿; (h) -黄铜矿交代溶蚀黄铁矿, 被石英细脉切穿

Fig.3 Outcrops and microphotographs of the Kalaguorumu copper deposit

(a) -malachite and secondary oxidation zone; (b) -ore-bearing rock; (c) -brecciated copper ore; (d) -veinlet and disseminated ore; (e) -hypidiomorphic-granular K-feldspar phenocryst with sericite alteration, crossed polarized light; (f) -microcline and secondary quartz, crossed polarized light; (g) -fracture development of xenomorphic granular chalcopyrite with minor pyrite; (h) -chalcopyrite replacing and surrounding pyrite, and cut by quartz veinlets

表2 喀拉果如木二长花岗斑岩主量元素(wt%)和微量、稀土元素($\times 10^{-6}$)含量表Table 2 Major (wt%) and trace element ($\times 10^{-6}$) components of the ore-bearing monzonitic granite porphyry in the Kalaguorumu deposit

样品号	KL-114	KL-117	KL-118	KL-121	KL-123	ZKN101B-2	ZKN101B-6	ZKN101B-7	ZKN101B-8	ZKN101B-9
SiO ₂	75.57	67.28	69.32	68.93	68.49	73.08	70.97	70.82	69.04	70.54
TiO ₂	0.18	0.62	0.56	0.57	0.47	0.39	0.48	0.51	0.51	0.53
Al ₂ O ₃	13.38	14.97	14.49	15.02	15.53	13.51	14.15	13.74	15.40	14.57
Fe ₂ O ₃ ^T	0.71	1.63	2.95	1.36	2.76	2.45	2.71	2.74	2.89	3.25
MnO	0.02	0.06	0.04	0.05	0.06	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03
MgO	0.33	0.89	0.93	0.63	0.88	0.71	0.90	0.89	0.88	0.93
CaO	0.76	2.41	2.40	1.55	1.87	1.74	1.94	1.89	2.29	2.13
Na ₂ O	3.65	5.34	3.27	4.89	2.78	2.98	3.34	3.38	3.28	3.17
K ₂ O	4.07	3.15	4.21	4.35	6.15	3.86	3.55	3.62	3.68	2.92
P ₂ O ₅	0.06	0.23	0.20	0.21	0.16	0.14	0.17	0.18	0.19	0.19
LOI	1.25	3.27	1.53	2.33	0.79	1.06	1.22	1.49	1.28	0.95
总量	99.99	99.84	99.90	99.89	99.94	99.95	99.46	99.27	99.47	99.21
Mg [#]	52.2	55.9	42.2	52.0	42.6	40.3	43.6	43.1	41.5	40.0
A/CNK	1.13	0.90	1.01	0.96	1.06	1.10	1.10	1.06	1.14	1.19
Sc	3.99	8.41	8.18	6.03	7.39	6.61	8.14	7.12	6.90	7.43
V	17.5	45.7	38.9	33.8	32.9	31.6	38.9	36.4	39.1	39.0
Cr	133	120	157	129	133	14.7	11.0	11.2	11.4	14.0
Co	2.15	3.34	5.75	1.57	5.43	41.7	38.7	34.1	37.8	45.7
Ni	36.4	30.9	46.1	36.5	38.7	6.59	6.13	5.38	5.01	6.45
Cu	14.7	102	31.9	65.3	15.9	0.59	6.58	0.97	2.81	1.13
Zn	10.3	23.1	41.3	22.0	54.1	24.8	19.3	22.4	32.2	29.8
Ga	17.0	19.9	19.9	17.4	18.5	15.8	18.5	17.5	18.7	18.0
Ge	1.30	1.21	1.16	1.16	1.08	1.08	1.12	1.17	1.20	1.13
Cs	2.99	1.52	7.87	1.14	7.40	6.75	8.91	7.78	5.30	8.84
Rb	203	146	191	135	239	164	200	192	185	199
Ba	186	376	541	395	991	410	324	374	358	265
Th	10.8	22.5	23.0	18.1	14.8	22.6	27.3	22.8	25.7	28.4
U	2.17	4.12	3.86	2.35	2.43	3.09	48.6	9.49	10.6	11.5
Nb	29.9	33.4	28.9	31.2	22.6	20.7	31.7	28.6	31.5	31.1
Ta	4.92	2.71	2.37	2.18	1.89	1.74	2.57	2.28	2.43	2.83
La	29.6	53.9	44.4	18.9	29.0	35.9	47.0	41.1	50.8	51.4
Ce	57.4	103	86.7	36.1	56.1	66.2	88.3	77.7	94.8	95.5
Pb	19.8	10.4	23.1	14.9	36.9	24.7	26.8	21.5	25.9	23.1
Pr	6.56	11.7	9.89	4.21	6.41	7.13	9.64	8.40	10.4	10.4
Sr	81.2	162	207	86.2	243	197	192	182	215	200
Nd	23.3	41.6	35.0	15.7	22.5	25.7	34.9	30.8	37.3	37.6
Zr	72.6	202	204	174	132	153	215	157	161	211
Hf	2.49	5.50	5.39	4.37	3.57	3.99	6.16	4.35	4.35	6.01
Sm	4.91	8.52	7.17	3.60	4.55	4.84	7.30	6.25	7.56	7.11
Eu	0.56	1.15	0.97	0.62	1.00	0.84	0.90	0.88	1.03	0.93
Gd	3.69	6.38	5.65	3.20	3.60	2.79	4.45	3.97	4.38	4.29
Tb	0.65	0.92	0.86	0.49	0.54	0.49	0.77	0.66	0.76	0.73
Dy	3.50	4.54	4.26	2.47	2.73	2.60	4.27	3.67	4.01	3.81
Y	19.3	20.8	21.1	12.0	13.7	12.8	21.5	18.6	19.9	19.1
Ho	0.70	0.85	0.81	0.47	0.54	0.50	0.81	0.72	0.76	0.72
Er	1.86	2.10	2.10	1.20	1.42	1.33	2.28	1.83	1.99	1.97
Tm	0.25	0.26	0.29	0.17	0.19	0.17	0.30	0.25	0.27	0.27
Yb	1.69	1.67	1.82	1.07	1.26	1.12	1.90	1.60	1.71	1.86
Lu	0.24	0.24	0.27	0.17	0.19	0.17	0.27	0.22	0.24	0.28
ΣREE	135	237	200	88.4	130	150	203	178	216	217
LREE/HREE	9.72	12.97	11.47	8.56	11.42	15.34	12.49	12.77	14.30	14.56
(La/Yb) _N	12.56	23.15	17.50	12.67	16.51	22.99	17.74	18.43	21.31	19.82
δEu	0.39	0.46	0.45	0.55	0.73	0.64	0.45	0.50	0.50	0.48

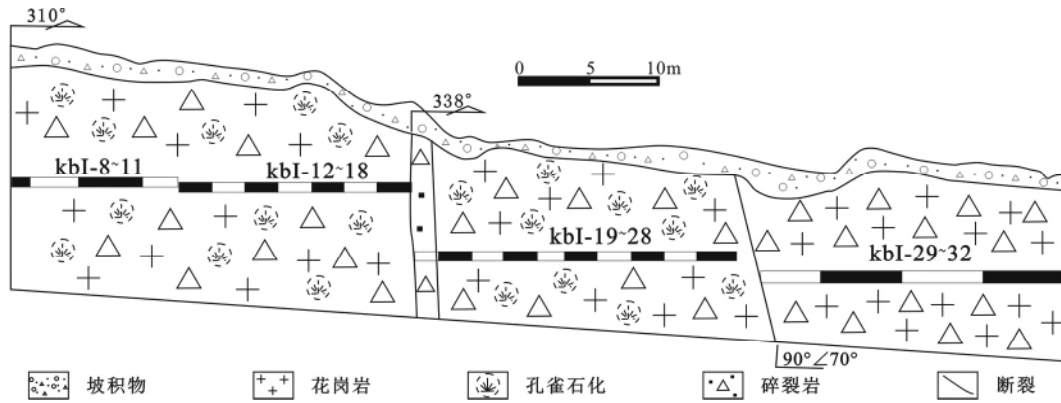


图4 喀拉果如木铜矿 BL1 号剥离面部分要素描图

Fig. 4 Geologic section of BL1

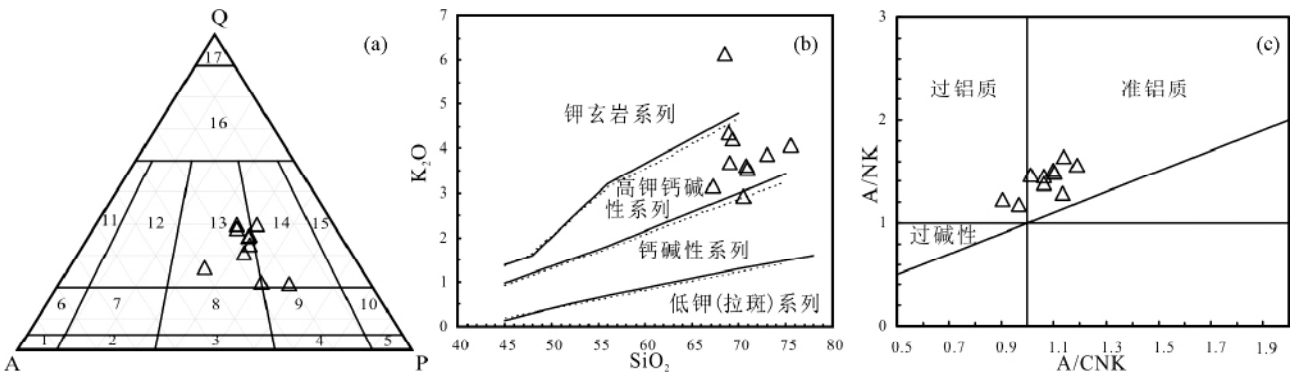


图5 喀拉果如木岩体岩石地球化学

(a) -QAP 分类图解 (据 Streckeisen, 1976) 8-石英二长岩; 9-二长闪长岩; 13-二长花岗岩; 14-花岗闪长岩; (b) -SiO₂-K₂O 图(据 Rickwood, 1989); (c) -A/CNK-A/NK 图(据 Maniar and Piccoli, 1989)

Fig. 5 Petrochemical characteristics of the Kalaguorumu monzogranite porphyry

(a) -the Q-A-P diagram (after Streckeisen *et al.*, 1976), 8-adamellite; 9-monzodiorite; 13-monzonite granite; 14-granodiorite; (b) -the SiO₂-K₂O diagram (after Rickwood, 1989); (c) -the A/CNK-A/NK diagram (after Maniar and Piccoli, 1989)

一侧。在 SiO₂-K₂O 图解(图 5b) 中主要落入高钾钙碱性系列区域中。A/CNK-A/NK 图解(图 5c) 中,显示为过铝质与准铝质过渡的特征。

花岗岩区域。

6 成岩年代学研究

5.3 微量和稀土元素地球化学特征

岩体 LREE/HREE 比值在 8.56 ~ 15.34,表现轻重稀土分馏强烈,富集轻稀土元素;(La/Yb)_N 值 9.72 ~ 15.34,说明岩体轻/重稀土分馏强烈。铕负异常明显(图 6a),岩浆结晶分异作用较强。

微量元素图解(图 6b)显示,各样品配分模式趋势一致,富集大离子亲石元素(LILE)如 Rb、Th、U 和 Pb 具有明显的正异常,亏损高场强元素(HFSE)和重稀土元素,显示 Nb 和 Ta 的负异常。

在 Y + Nb-Rb 图解(图 7a) 中落入到同碰撞花岗岩中;在 Hf-Rb/30-Ta × 3(图 7b) 图解中 喀拉果如木岩体落入碰撞后

锆石年代学研究样品采自喀拉果如木二长花岗斑岩岩体中部。经碎样、磁选及重液分选等处理之后,双目镜下手工挑选出锆石颗粒,用环氧树脂制靶,并抛光至锆石内部结构充分暴露。锆石阴极发光图像研究在中国科学院广州地球化学研究所 JXA28100 电子探针仪上完成,锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄测定在中国科学院广州地球化学研究所同位素年代学与地球化学重点实验室完成。

喀拉果如木岩体锆石无色透明,多数为短柱状,长为 80 ~ 150μm,长短向之比约为 3 : 1。在阴极发光图像上(图 8a),锆石振荡环带清晰,大多数具有核边结构。为探讨岩体的成岩年龄,选取环带明显,颗粒完整的锆石进行了 LA-ICP-MS 测试,测试结果见表 3。

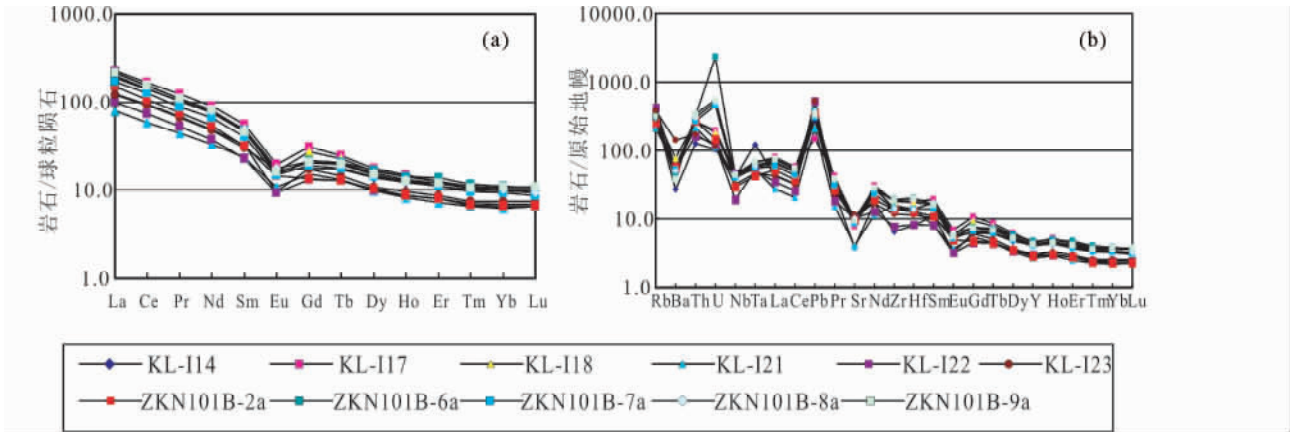


图6 喀拉果如木岩体稀土元素球粒陨石标准化图解 (a) 和微量元素原始地幔标准化图解 (b) (标准化值据 Sun and McDonough , 1989)

Fig. 6 Chondrite-normalized REE patterns (a) and primitive mantle-normalized trace element patterns (b) (the data of chondrite and primitive mantle after Sun and McDonough , 1989)

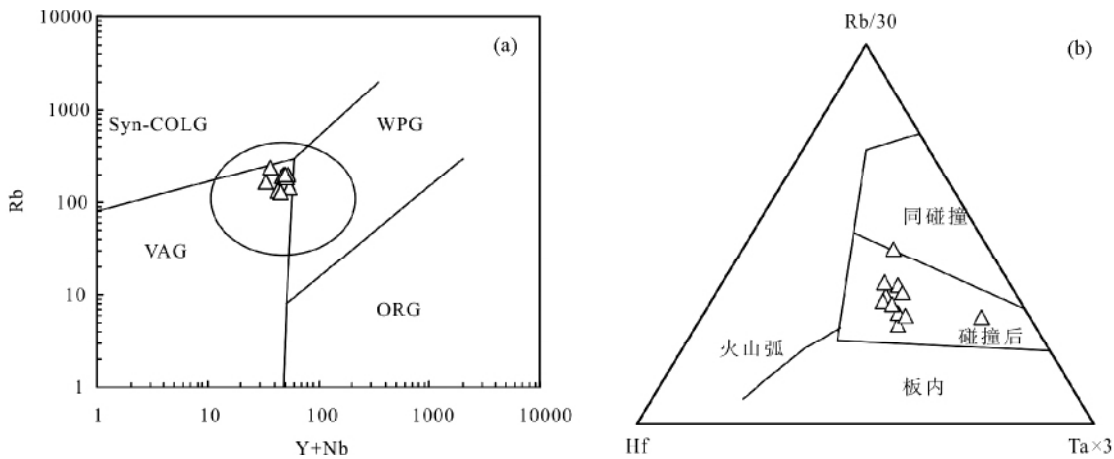


图7 喀拉果如木岩体 Y + Nb-Rb 图解 (a 据 Pearce *et al.* , 1996) 和 Hf-Rb/30-Ta x 3 图解 (b 据 Harris *et al.* , 1986) WPG-板内花岗岩; VAG-火山弧花岗岩; Syn-COLG-同碰撞花岗岩; ORG-洋中脊花岗岩

Fig. 7 The Y + Nb-Rb (a , after Pearce *et al.* , 1996) and Hf-Rb/30-Ta x 3 diagrams (b , after Harris *et al.* , 1990)

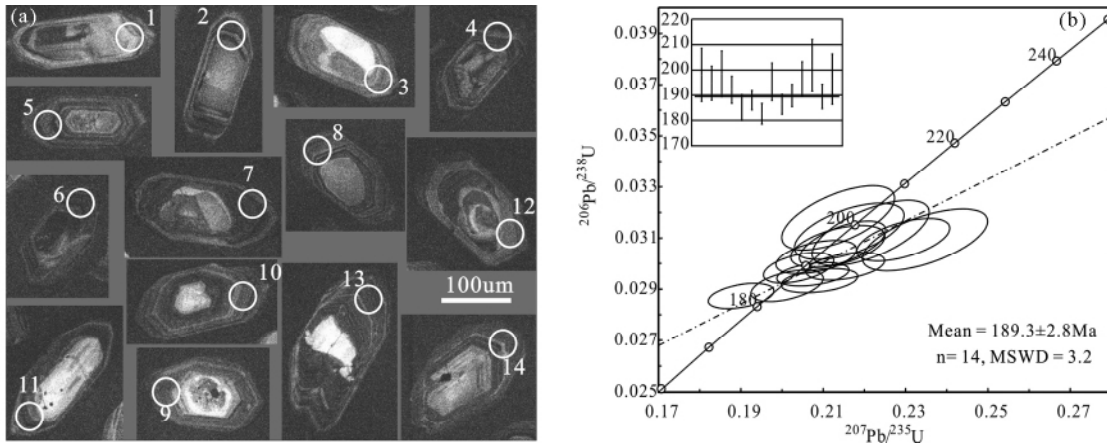


图8 喀拉果如木二长花岗斑岩(样品号 KL-118) 锆石阴极发光图像 (a) 和锆石 U-Pb 谐和图 (b)

Fig. 8 CL images of zircons for ore-bearing monzogranite porphyry (a) and zircon U-Pb concordia diagram (b)

表3 喀拉果如木矿区二长花岗斑岩锆石 LA-ICPMS U-Pb 分析结果

Table 3 Zircon LA-ICP-MS U-Pb data of the Kalaguorumu monzogranite porphyry

测点号	Pb ($\times 10^{-6}$)	Th	U	Th/U	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	
					Ratio	1 σ	Ratio	1 σ	Age(Ma)	1 σ	Age(Ma)	1 σ
1	37.13	479.66	982.12	0.49	0.22151	0.00939	0.03119	0.00084	203.2	7.81	198.0	5.28
2	70.62	873.85	1990.01	0.44	0.21355	0.00755	0.03067	0.00055	196.5	6.32	194.7	3.41
3	33.05	273.87	1008.84	0.27	0.21633	0.00879	0.03126	0.00073	198.9	7.34	198.4	4.55
4	61.62	326.96	1873.67	0.17	0.20833	0.00648	0.03025	0.00043	192.2	5.44	192.1	2.71
5	90.84	416.71	3013.52	0.14	0.20123	0.00580	0.02913	0.00040	186.2	4.90	185.1	2.53
6	159.64	1516.51	4399.72	0.34	0.20749	0.00579	0.02958	0.00030	191.4	4.87	187.9	1.89
7	97.24	419.69	3287.07	0.13	0.19006	0.00528	0.02873	0.00033	176.7	4.50	182.6	2.04
8	77.44	462.89	2440.72	0.19	0.21471	0.00692	0.03076	0.00060	197.5	5.79	195.3	3.74
9	53.92	185.04	1800.69	0.10	0.20908	0.00616	0.02933	0.00031	192.8	5.17	186.3	1.94
10	99.21	409.99	3206.27	0.13	0.21538	0.00630	0.02989	0.00036	198.1	5.26	189.9	2.23
11	84.45	204.06	2750.18	0.07	0.22943	0.00747	0.03093	0.00055	209.7	6.17	196.4	3.45
12	29.57	134.06	916.58	0.15	0.21364	0.00905	0.03179	0.00083	196.6	7.57	201.7	5.17
13	116.43	753.67	3657.98	0.21	0.20403	0.00564	0.02983	0.00039	188.5	4.76	189.5	2.45
14	70.17	259.37	2262.52	0.11	0.23473	0.01004	0.03093	0.00080	214.1	8.26	196.3	5.00

测试结果显示, 锆石 Th/U 比值为 0.07 ~ 0.49, 具岩浆锆石特点 (Hidaka *et al.*, 2002; 吴元保等, 2002; 吴元保和郑永飞, 2004)。14 个测点的锆石 U-Pb 年龄在 182.6 ~ 196.3Ma, 谐和年龄为 189.3 ± 2.8Ma (MSWD = 3.2) (图 8b), 表明岩体形成于早侏罗世, 属燕山早期。

7 讨论

7.1 矿床成因类型

喀拉果如木铜矿产于二长花岗斑岩岩体中, 矿化规模较大, 矿石矿物有黄铜矿、黄铁矿、斑铜矿、毒砂等, 矿石呈细脉浸染状、破碎角砾状, 初步统计细网脉密度在 160 ~ 260 条/米, 具有斑岩型铜矿的良好找矿前景。铜矿位于侵入体中部, 在外围地层碳酸盐岩中发育热液脉状铅锌矿。空间上, 矿化具有一定分带性, 斑岩体由内向外为黄铜矿 + 黄铁矿, 最外围为方铅矿 + 闪锌矿组合, 与研究程度较高的玉龙、驱龙铜矿带有类似的分带特征。成矿岩体二长花岗斑岩为中酸性斑岩类, 属高钾钙碱性系列, 矿化位于黄铁绢英岩化带内, 具有良好的围岩蚀变。喀拉果如木铜矿出露面积较小, 推测出露的仅是斑岩矿化系统的顶部部分, 而斑岩型矿床中常见的钾长石化由于岩体剥蚀较浅未能在地表出露, 推测钾化带在岩体深部发育, 深部具有较大的找矿潜力。对照斑岩铜矿的蚀变作用和成矿作用 (张洪涛等, 2004; 侯增谦, 2010; Sillitoe, 2010), 认为该矿床具有似斑岩型铜矿的特点, 外部发育热液脉状铅锌矿化, 与青藏高原冈底斯成矿带的斑岩铜矿床及美国的宾厄姆斑岩铜矿的周围有脉型铅锌银有类似之处 (Jones, 1992; Gruen *et al.*, 2010), 初步厘定喀拉果

如木铜矿为斑岩型铜矿床。

7.2 矿床产出环境

前人研究表明 (潘桂棠等, 2004; 张传林等, 2005, 2007; 韩芳林, 2006), 北昆仑地体与南昆仑地体在早古生代末沿库地缝合带碰撞拼合, 形成昆仑联合地体 (图 9); 之后, 南昆仑地体与喀喇昆仑-甜水海联合地体之间的古特提斯洋向北俯冲消减到昆仑联合地体之下, 使南昆仑地体在晚古生代-三叠纪期间演变为岩浆弧, 直至古特提斯洋闭合, 喀喇昆仑-甜水海联合地体与昆仑联合地体拼接、碰撞造山, 即印支运动。

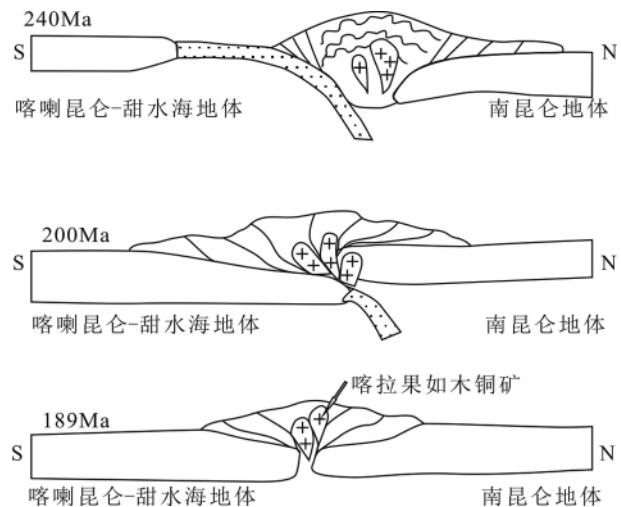


图9 喀拉果如木铜矿成矿地球动力学模式图

Fig. 9 Schematic diagrams showing the formation of Kalaguorumu Cu deposit

与上述构造演化格局相对应,南昆仑地体大量发育 190~220Ma 的花岗岩类,多数花岗岩具有岛弧型钙碱性花岗岩的特征,表明岩浆弧系统的存在(张玉泉等,1998; Bi *et al.*, 1999; 袁超等,1999)。沿南昆仑地体与喀喇昆仑-甜水海联合地体的缝合带,大量发育强应变带,尤其以康西瓦附件的孔兹岩系为代表。康西瓦断裂变质带(孔兹岩系)的变质年龄显示出 200Ma 峰值,而康西瓦断裂西南侧的布伦阔勒群孔兹岩系也具有 200Ma 的变质年龄峰值(张传林等 2007),证明 200Ma 左右洋陆俯冲作用已经转向陆陆碰撞造山作用。

本文研究表明,喀拉果如木铜矿成矿岩体侵入到二叠系地层中,锆石 U-Pb 年龄为 189.3 ± 2.8 Ma,表明成岩成矿作用发生在早侏罗世,在区域构造演化格局中也属于碰撞造山时期。

喀拉果如木铜矿成矿岩体为二长花岗岩斑岩,岩石地球化学性质表明岩石为高钾钙碱性系列,微量元素富集大离子亲石元素(LILE),亏损高场强元素(HFSE)和重稀土元素,Nb、Ta 负异常,Pb 正异常,显示了弧岩浆地球化学亲缘性,物质来源具有壳幔混合特征。在微量元素构造判别图中,岩体样品落入同碰撞碰撞后环境,是岩体形成古特提斯洋消减闭合后喀喇昆仑-甜水海联合地体与昆仑联合地体碰撞造山作用的产物。

8 结论

(1) 位于喀喇昆仑地区的喀拉果如木铜多金属矿,铜矿化赋存于二长花岗岩斑岩中,矿石类型为细脉浸染状、斑点状,围岩蚀变有硅化-褐铁矿化、黄铁矿化、青磐岩化和绢云母化,钾化不发育。铅锌矿化位于外围含碳酸盐岩地层中,发育大理岩化。

(2) 成矿二长花岗岩斑岩具有高 SiO_2 、 Al_2O_3 含量,富 K_2O 、 Na_2O ,低 CaO 、 TiO_2 等特点,属于高钾钙碱性系列,微量元素富集大离子亲石元素(LILE),亏损高场强元素(HFSE)和重稀土元素,显示 Nb、Ta 负异常,显示陆缘弧岩浆的地球化学亲缘性,形成于陆陆碰撞造山体制,是南昆仑地体与喀喇昆仑-甜水海地体拼贴、碰撞的产物。

(3) 喀拉果如木铜矿成矿岩体的锆石 LA-ICP-MS U-Pb 加权平均年龄为 189.3 ± 2.8 Ma,属早侏罗世,表明成矿作用发生在燕山早期。喀喇昆仑地体在早侏罗世属于后碰撞构造环境。

致谢 感谢审稿人对本文修改提出的建设性意见,感谢陈衍景教授、陈华勇研究员、仝来喜研究员对论文修改过程中提出的宝贵意见!野外工作地质工作得到国家 305 项目办公室及新疆名都矿业公司的支持,在此表示感谢。

References

Bi H, Wang ZG, Wang YL and Zhu XQ. 1999. History of tectono-

magmatic evolution in the western Kunlun Orogen. *Science in China (Series D)*, 42(6): 604-619

Chen YJ and Fu SG. 1992. *Gold Mineralization in West Henan*. Beijing: Seismological Press, 1-234 (in Chinese with English abstract)

Chen YJ. 2002. Several important problems in study of regional metallogenesis in China: Their relationship to continental collision. *Earth Science Frontiers*, 9(4): 319-328 (in Chinese with English abstract)

Chen YJ, Pirajno F and Sui YH. 2004. Isotope geochemistry of the Tieluping silver-lead deposit, Henan, China: A case study of orogenic silver-dominated deposits and related tectonic setting. *Mineralium Deposita*, 39(5-6): 560-575

Chen YJ, Pirajno F and Qi JP. 2005. Origin of gold metallogeny and sources of ore-forming fluids, Jiaodong province, eastern China. *International Geology Review*, 47(5): 530-549.

Chen YJ. 2006. Orogenic-type deposits and their metallogenic model and exploration potential. *Geology in China*, 33(6): 1181-1196 (in Chinese with English abstract)

Chen YJ, Chen HY, Zaw K, Pirajno F and Zhang ZJ. 2007. Geodynamic settings and tectonic model of skarn gold deposits in China: An overview. *Ore Geology Reviews*, 31(1-4): 139-169

Chen YJ, Ni P, Fan HR, Pirajno F, Lai Y, Su WC and Zhang H. 2007. Diagnostic fluid inclusions of different types hydrothermal gold deposits. *Acta Petrologica Sinica*, 23(9): 2085-2108 (in Chinese with English abstract)

Chen YJ and Li N. 2009. Nature of ore-fluids of intracontinental intrusion-related hypothermal deposits and its difference from those in island arcs. *Acta Petrologica Sinica*, 25(10): 2477-2508 (in Chinese with English abstract)

Chen YJ, Zhai MG and Jiang SY. 2009. Significant achievements and open issues in study of orogenesis and metallogenesis surrounding the North China continent. *Acta Petrologica Sinica*, 25(11): 2695-2726 (in Chinese with English abstract)

Chen YJ, Pirajno F, Wu G, Qi JP and Xiong XL. 2012. Epithermal deposits in North Xinjiang, NW China. *International Journal of Earth Sciences*, 101(4): 889-917

Chen YJ, Zhang C, Li N, Yang YF and Deng K. 2012. Geology of the Mo deposits in Northeast China. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 42: 1223-1268 (in Chinese with English abstract)

Dong LH, Feng J, Liu DQ, Tang YL, Qu X, Wang KZ and Yang ZF. 2010a. Research for classification of metallogenic unit of Xinjiang. *Xinjiang Geology*, 28(1): 1-15 (in Chinese with English abstract)

Dong LH, Qu X, Zhu ZX and Zhang LC. 2010b. Tectonic evolution and metallogenesis of Xinjiang, China. *Xinjiang Geology*, 28(4): 351-357 (in Chinese with English abstract)

Dong YG, Guo KY, Xiao HL, Zhang CL, Wang AG and Zhao Y. 2003. Ore prospects of the West Kunlun area in western China. *Geology in China*, 30(2): 173-178 (in Chinese with English abstract)

Gruen G, Heinrich CA and Schroeder K. 2010. The Bingham Canyon porphyry Cu-Mo-Au deposit. II. Vein geometry and ore shell formation by pressure-driven rock extension. *Economic Geology*, 105(1): 69-90

Han FL. 2006. Tectonic evolution and mineralization of the western Kunlun accretion type orogen. Ph.D. Dissertation. Beijing: China University of Geosciences, 1-164 (in Chinese with English abstract)

Harris NBW, Pearce JA and Tindle AG. 1986. Geochemical characteristics of collision zone magmatism. In: Coward MP and Reis AC (eds.). *Collision Tectonics*. Spec. Publ. Sci. Lond., 19: 67-81

Hidaka H, Shimizu H and Adachi M. 2002. U-Pb geochronology and REE geochemistry of zircons from Palaeoproterozoic paragneiss clasts in the Mesozoic Kamiaso conglomerate, central Japan: Evidence for an Archean provenance. *Chemical Geology*, 187(3-4): 279-293

Hou ZQ. 2010. Metallogenesis of continental collision. *Acta Geologica Sinica*, 84(1): 30-58 (in Chinese with English abstract)

- Jones BK. 1992. Application of metal zoning to gold exploration in porphyry copper systems. *Journal of Geochemical Exploration*, 43 (2): 127 – 155.
- Li N, Chen YJ, Zhang H, Zhao TP, Deng XH, Wang Y and Ni ZY. 2007. Molybdenum deposits in East Qinling. *Earth Science Frontiers*, 14(5): 186 – 198 (in Chinese with English abstract)
- Li N, Ulrich T, Chen YJ, Thompson TB, Peace V and Pirajno F. 2012. Fluid evolution of the Yuchiling porphyry Mo deposit, East Qinling, China. *Ore Geology Reviews*, 48: 442 – 459.
- Liu JP, Wang H and Ren GL. 2010a. Geological characters and prospecting significance of Xiaotongxiang molybdenum deposit in western Kunlun, Xinjiang. *Xinjiang Geology*, 28(1): 38 – 42 (in Chinese with English abstract)
- Liu JP, Wang H, Li SH, Tong LX and Ren GL. 2010b. Geological and geochemical features and geochronology of the Kayizi porphyry molybdenum deposit in the northern belt of western Kunlun, NW China. *Acta Petrologica Sinica*, 26(10): 3095 – 3105 (in Chinese with English abstract)
- Maniar PD and Piccoli PM. 1989. Tectonic discrimination of granitoids. *Geological Society of America Bulletin*, 101(5): 635 – 643
- Pan GT, Zhu DC, Wang LQ, Liao ZL, Geng QR and Jiang XS. 2004. Bangong Lake–Nu River suture zone—the northern boundary of Gondwanaland: Evidence from geology and geophysics. *Earth Science Frontiers*, 11(4): 371 – 382 (in Chinese with English abstract)
- Pearce JA. 1996. Sources and settings of granitic rocks. *Episodes*, 19(4): 120 – 125
- Pirajno F. 2009. *Hydrothermal Processes and Mineral Systems*. Berlin: Springer, 1 – 1250
- Ren GL, Wang H, Liu JP, Wu YF, Fu WW and Huang CY. 2010. Geochemistry and tectonic significance of Permian OIB-type basalts from Aranbaotai in Karakorum Mts., Xinjiang, NW China. *Acta Petrologica Sinica*, 26(10): 3085 – 3094 (in Chinese with English abstract)
- Richards JP. 2003. Tectono-magmatic precursors for porphyry Cu-(Mo–Au) deposit formation. *Economic Geology*, 98(8): 1515 – 1533
- Rickwood PC. 1989. Boundary lines within petrologic diagrams which use oxides of major and minor elements. *Lithos*, 22(4): 247 – 263
- Rui ZY, Zhang HT, Chen RY, Wang ZL, Wang LS and Wang YT. 2006. An approach to some problems of porphyry copper deposits. *Mineral Deposits*, 35(4): 491 – 500 (in Chinese with English abstract)
- Shen P, Dong LH, Feng J, Wang H, Xu XW, Xue CJ and Qu X. 2010. Distribution, age and metallogenic characteristics of the porphyry copper deposits in Xinjiang, China. *Xinjiang Geology*, 28(4): 358 – 364 (in Chinese with English abstract)
- Sillitoe RH. 1972. A plate tectonic model for the origin of porphyry copper deposits. *Economic Geology*, 67(2): 184 – 197
- Sillitoe RH. 1976. Andean mineralization: A model for the metallogeny of convergent plate margins. In: Strong DF (ed.). *Metallogeny and plate tectonics*. Geol. Assoc. Canada, Special Paper, 14: 59 – 100
- Sillitoe RH. 2010. Porphyry copper systems. *Economic Geology*, 105(1): 3 – 41
- Streckeisen A. 1976. To each plutonic rock its proper name. *Earth–Science Reviews*, 12(1): 1 – 33
- Sun HT, Li CJ, Wu H, Wang HJ, Qi SJ, Chen GM, Liu ZT and Gao P. 2003. *Generality of West Kunlun Metallogenic Province*. Beijing: Geological Publishing House, 1 – 255 (in Chinese)
- Sun SS and McDonough WF. 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: Implications for mantle composition and processes. In: Saunders AD and Norry MJ (eds.). *Magmatism in the Ocean Basins*. Geological Society, London, Special Publications, 42(1): 313 – 345
- Wang H, Liu JP, Li SH, Chen GW, Ren GL and Zhao L. 2008. Discovery of the kayizi porphyry molybdenum deposit in west Kunlun, Xinjiang and its prospecting implication. *Geotectonica et Metallogenia*, 32(2): 179 – 184 (in Chinese with English abstract)
- Wang H, Ren GL, Liu JP, Wu YF, Fu WW and Huang CY. 2010. Discovery and characteristic of the Kalagurumu copper deposit in west Kunlun, Xinjiang. *Xinjiang Geology*, 28(4): 365 – 369 (in Chinese with English abstract)
- Wang JB and Xu X. 2006. Post-collisional tectonic evolution and metallogenesis in northern Xinjiang, China. *Acta Geologica Sinica*, 80(1): 23 – 31 (in Chinese with English abstract)
- Wang JP. 2008. Geological features and tectonic significance of melange zone in the Taxkorgan area, West Kunlun. *Geological Bulletin of China*, 27(12): 2057 – 2066 (in Chinese with English abstract)
- Wang JZ, Li CY and Hu RZ. 2001. Research progress in porphyry copper deposit. *Advance in Earth Sciences*, 16(4): 514 – 519 (in Chinese with English abstract)
- Wu YB, Chen DG, Xia QK, Cheng H and Tu XL. 2002. In-situ trace element analyses of zircons from Dabieshan Huangzhen ecogite: Trace element characteristics of eclogite-faces metamorphic zircon. *Chinese Science Bulletin*, 47(11): 859 – 863 (in Chinese)
- Wu YB and Zheng YF. 2004. Genesis of zircon and its constraints on interpretation of U–Pb age. *Chinese Science Bulletin*, 49(16): 1589 – 1604 (in Chinese)
- Yang YF, Li N and Chen YJ. 2012. Fluid inclusion study of the Nannihu giant porphyry Mo–W deposit, Henan Province, China: Implications for the nature of porphyry ore–fluid systems formed in a continental collision setting. *Ore Geology Reviews*, 46: 83 – 94
- Yang YF, Chen YJ, Li N, Mi M, Xu YL, Li FL and Wan SQ. 2013. Fluid inclusion and isotope geochemistry of the Qian'echong giant porphyry Mo deposit, Dabie Shan, China: A case of NaCl-poor, CO₂-rich fluid systems. *Journal of Geochemical Exploration*, 124: 1 – 13
- Yuan C, Sun M and Li JL. 1999. Ages and possible source of the two granite plutons in middle of Western Kunlun. *Chinese Science Bulletin*, 44(5): 534 – 538 (in Chinese)
- Zhang CL, Yu HF, Wang AG and Guo KY. 2005. Dating of Triassic granites in the western Kunlun Mountains and its tectonic significance. *Acta Geologica Sinica*, 79(5): 645 – 652 (in Chinese with English abstract)
- Zhang CL, Lu SN, Yu HF and Ye HM. 2007. Tectonic evolution of western orogenic belt: Evidences from zircon SHRIMP and LA-ICP-MS U–Pb ages. *Science in China (Series D)*, 37(2): 145 – 154 (in Chinese)
- Zhang HT, Chen RY and Han FL. 2004. Reunderstanding of metallogenic geological conditions of porphyry copper deposits in China. *Mineral Deposits*, 23(2): 150 – 163 (in Chinese with English abstract)
- Zhang L, Chen HY, Chen YJ, Qin YJ, Liu CF, Zheng Y and Jansen NH. 2012a. Geology and fluid evolution of the Wangfeng orogenic-type gold deposit, western Tian Shan, China. *Ore Geology Reviews*, 49: 85 – 95
- Zhang L, Zheng Y and Chen YJ. 2012b. Ore geology and fluid inclusion geochemistry of the Tiemurt Pb–Zn–Cu deposit, Altay, Xinjiang, China: A case study of orogenic-type Pb–Zn systems. *Journal of Asian Earth Sciences*, 49: 69 – 79.
- Zhang YQ, Zhu BQ, Xie YW, Harrison TM and Kidd WSF. 1998. The uplifting rates for the western Qinghai–Xizang Plateau: Interpretation of ⁴⁰Ar–³⁹Ar dating data for the granites in the area from Yecheng to Shiquanhe. *Acta Petrologica Sinica*, 14(1): 11 – 21 (in Chinese with English abstract)

附中文参考文献

- 陈衍景, 富士谷. 1992. 豫西金矿成矿规律. 北京: 地震出版社, 1 – 234
- 陈衍景. 2002. 中国区域成矿研究的若干问题及其与陆陆碰撞的关系. *地学前缘*, 9(4): 319 – 328
- 陈衍景. 2006. 造山型矿床成矿模式及找矿潜力. *中国地质*, 33(6): 1181 – 1196
- 陈衍景, 倪培, 范宏瑞, Pirajno F, 赖勇, 苏文超, 张辉. 2007. 不同

- 类型热液金矿系统的流体包裹体特征. 岩石学报, 23(9): 2085-2108
- 陈衍景, 李诺. 2009. 大陆内部浆控高温热液矿床成矿流体性质及其与岛弧区同类矿床的差异. 岩石学报, 25(10): 2477-2508
- 陈衍景, 翟明国, 蒋少涌. 2009. 华北大陆边缘造山过程与成矿研究的重要进展和问题. 岩石学报, 25(11): 2695-2726
- 陈衍景, 张成, 李诺, 杨永飞, 邓轲. 2012. 中国东北钼矿床地质. 吉林大学学报(地球科学版), 42(5): 1223-1268
- 董连慧, 冯京, 刘德权, 唐延龄, 屈迅, 王克卓, 杨在峰. 2010a. 新疆成矿单元划分方案研究. 新疆地质, 28(1): 1-15
- 董连慧, 屈迅, 朱志新, 张良臣. 2010b. 新疆大地构造演化与成矿. 新疆地质, 28(4): 351-357
- 董永观, 郭坤一, 肖惠良, 张传林, 王爱国, 赵宇. 2003. 西昆仑地区成矿远景. 中国地质, 30(2): 173-178
- 韩芳林. 2006. 西昆仑增生造山带演化及成矿背景. 博士学位论文. 北京: 中国地质大学, 1-164
- 侯增谦. 2010. 大陆碰撞成矿论. 地质学报, 84(1): 30-58
- 李诺, 陈衍景, 张辉, 赵太平, 邓小华, 王运, 倪志勇. 2007. 东秦岭斑岩钼矿带的地质特征和成矿构造背景. 地学前缘, 14(5): 186-198
- 刘建平, 王核, 任广利. 2010a. 新疆西昆仑小同钼矿地质特征及找矿意义. 新疆地质, 28(1): 38-42
- 刘建平, 王核, 李社宏, 仝来喜, 任广利. 2010b. 西昆仑北带喀依孜斑岩型钼矿床地质地球化学特征及年代学研究. 岩石学报, 26(10): 3095-3105
- 潘桂棠, 朱弟成, 王立全, 廖忠礼, 耿全如, 江新胜. 2004. 班公湖-怒江缝合带作为冈瓦纳大陆北界的地质地球物理证据. 地学前缘, 11(4): 371-382
- 任广利, 王核, 刘建平, 吴玉峰, 付王伟, 黄朝阳. 2010. 新疆喀喇昆仑阿然保泰二叠纪 OIB 型玄武岩地球化学特征及其地质意义. 岩石学报, 26(10): 3085-3094
- 芮宗瑶, 张洪涛, 陈仁义, 王志良, 王龙生, 王义天. 2006. 斑岩铜矿研究中若干问题探讨. 矿床地质, 35(4): 491-500
- 申萍, 董连慧, 冯京, 王核, 徐兴旺, 薛春纪, 屈迅. 2010. 新疆斑岩型铜矿床分布、时代及成矿特点. 新疆地质, 28(4): 358-364
- 孙海田, 李纯杰, 吴海, 王宏君, 祁世军, 陈贵民, 刘振涛, 高鹏. 2003. 西昆仑金属成矿省概论. 北京: 地质出版社, 1-255
- 王核, 刘建平, 李社宏, 陈根文, 任广利, 赵玲. 2008. 西昆仑喀依孜斑岩钼矿的发现及其意义. 大地构造与成矿学, 32(2): 179-184
- 王核, 任广利, 刘建平, 吴玉峰, 付王伟, 黄朝阳. 2010. 西昆仑喀拉果如木铜矿床地质特征及发现意义. 新疆地质, 28(4): 365-369
- 王京彬, 徐新. 2006. 新疆北部后碰撞构造演化与成矿. 地质学报, 80(1): 23-31
- 王建平. 2008. 西昆仑塔什库尔干混杂岩的地质特征及其大地构造意义. 地质通报, 27(12): 2057-2066
- 王奖臻, 李朝阳, 胡瑞忠. 2001. 斑岩铜矿研究的若干进展. 地球科学进展, 16(4): 514-519
- 吴元保, 陈道公, 夏群科, 程昊, 涂湘林. 2002. 大别山黄镇榴辉岩锆石的微区微量元素分析: 榴辉岩相变质锆石的微量元素特征. 科学通报, 47(11): 859-863
- 吴元保, 郑永飞. 2004. 锆石成因矿物学研究及其对 U-Pb 年龄解释的制约. 科学通报, 49(16): 1589-1604
- 袁超, 孙敏, 李继亮. 1999. 西昆仑中带两个花岗岩体的年龄和可能的源区. 科学通报, 44(5): 534-538
- 张传林, 于海锋, 王爱国, 郭坤一. 2005. 西昆仑西段三叠纪两类花岗岩年龄测定及其构造意义. 地质学报, 79(5): 645-652
- 张传林, 陆松年, 于海锋, 叶海敏. 2007. 青藏高原北缘西昆仑造山带构造演化: 来自锆石 SHRIMP 及 LA-ICP-MS 测年的证据. 中国科学(D 辑), 37(2): 145-154
- 张洪涛, 陈仁义, 韩芳林. 2004. 重新认识中国斑岩铜矿的成矿地质条件. 矿床地质, 23(2): 150-163
- 张玉泉, 朱炳泉, 谢应雯, 哈里森 TM, 基德 WSF. 1998. 青藏高原西部的抬升速率: 叶城-狮泉河花岗岩⁴⁰Ar-³⁹Ar 年龄的地质解释. 岩石学报, 14(1): 11-21