



编号: 0258-7106(2010)06-0956-16

新疆准噶尔斑岩铜矿地质特征及成矿作用*

杨富全¹, 闫升好², 刘国仁³, 周刚³, 张志欣¹, 刘锋¹, 耿新霞¹, 郭春丽¹

(1 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;
2 国土资源部中央地质勘查基金管理中心, 北京 100812; 3 新疆地质矿产勘探开发局第四地质大队,
新疆 阿尔泰 836500)

摘要 在前人工作基础上, 文章综述了新疆准噶尔斑岩铜矿地质特征和成矿背景。划分出4个成矿带, 即晚志留世—早泥盆世初琼河坝地区斑岩铜钼矿带、中泥盆世卡拉先格斑岩铜矿带、早石炭世希勒库都克-索尔库都克斑岩-砂卡岩铜钼矿带和晚石炭世包古图斑岩铜矿带。准噶尔成岩成矿时代分为4期, 即晚志留世—早泥盆世初(427~411 Ma)、中泥盆世(378~374 Ma)、石炭纪(332~296 Ma)、二叠纪—三叠纪叠加成矿期(269~266 Ma, 230~200 Ma)。斑岩铜矿成矿温度从高温延续到低温(530~120℃), 但主要成矿区间在中温阶段(300~180℃); 流体盐度 $\alpha(\text{NaCl}_{\text{eq}})$ 变化于0.5%~21.75%之间和28.9%~66.76%之间。包古图和云英山矿床成矿流体主要为岩浆水, 哈腊苏和玉勒肯哈腊苏矿床成矿流体为岩浆水混合大气降水。硫同位素组成集中于零值附近, 指示成矿物质来源于地幔或与地幔有关的岩浆。斑岩铜矿的形成主要与中性、中酸性和酸性斑岩侵入活动有关, 其形成的构造环境有大陆岛弧、大洋岛弧和后碰撞环境。

关键词 地质学 斑岩铜矿 时空分布 构造背景 成矿作用 准噶尔 新疆

中图分类号: P618.41

文献标志码: A

Geological characteristics and metallogenesis of porphyry copper deposits in Junggar, Xinjiang

YANG FuQuan¹, YAN ShengHao², LIU GuoRen³, ZHOU Gang³, ZHANG ZhiXin¹, LIU Feng¹,
GENG XinXia¹ and GUO ChunLi¹

(1 MLR Key Laboratory of Metallogeny and Mineral Assessment, Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China; 2 Central Geology and Mineral Exploration Foundation Management Center, Ministry of Land and Resources, Beijing 100812, China; 3 No. 4 Geological Party of Xinjiang Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development, Altay 836500, Xinjiang, China)

Abstract

In this paper, the geological characteristics of porphyry copper deposits in Junggar of Xinjiang are reviewed in the metallogenic-tectonic context. These porphyry copper deposits mainly occur in four metallogenic belts: ① Late Silurian to the beginning of Early Devonian Qionghaba porphyry Cu-Mo metallogenic belt; ② Middle Devonian Kalaxiang'er porphyry Cu metallogenic belt; ③ Early Carboniferous Xilekuduke-Suoerkuduke porphyry-skarn Cu-Mo metallogenic belt; and ④ Late Carboniferous Baogutu porphyry Cu metallogenic belt. The

* 本文得到国家重点基础研究发展计划项目(编号 2007CB411302)国家自然科学基金资助项目(编号 40972069)和国土资源大调查项目(编号 1212010630603, 1212010786006)联合资助

第一作者简介 杨富全, 男, 1968年生, 博士, 研究员, 矿床学专业, 从事矿床地质、地球化学研究。Email: fuquanyang@163.com

收稿日期 2010-04-22; 改回日期 2010-10-20。张绮玲编辑。

ages of the porphyry intrusions and mineralizations can be divided into four periods: Late Silurian to the beginning of Early Devonian (427~411 Ma), Middle Devonian (378~374 Ma), Carboniferous (332~296 Ma) and Permian to Triassic (269~266 Ma; 230~200 Ma) superimposed mineralization period. The mineralization temperatures of these porphyry copper deposits range from 530 to 120°C, clustered between 300 to 180°C. The salinities $w(\text{NaCl}_{\text{eq}})$ range from 0.5% to 21.7% and from 28.9% to 66.76%. The ore-forming fluids of the Baogutu and Yunyingshan deposits were mainly derived from magmatic fluids, whereas the Halasu and Yuleken-halasu deposits were mainly derived from magmatic fluids, with some contributions from meteoric water. Sulfur isotope composition of the porphyry copper deposits is around 0‰, indicating that the ore-forming materials were probably derived from the mantle or the mantle-related magmas. The ore-forming processes of the porphyry copper deposits are closely related to intermediate, intermediate-felsic and felsic porphyry intrusions. The porphyry copper deposits in Junggar were formed in three tectonic settings, i. e., continental arc, ocean island arc and post-collision settings.

Key words: geology, porphyry copper deposits, time-space distribution, tectonic setting, metallogenesis, Junggar, Xinjiang

中亚造山带是世界上重要的斑岩铜矿带之一,在哈萨克斯坦巴尔喀什和蒙古均发现了多个大型和超大型斑岩矿床,如科翁腊德铜矿、欧玉陶勒盖铜矿等(Seltmann et al., 2005)。新疆地处中亚造山带腹地,是寻找斑岩铜矿的有利地区,但目前发现的斑岩铜矿无论在数量上还是规模上均无法与哈萨克斯坦、乌兹别克斯坦和蒙古相比。新疆准噶尔斑岩铜矿找矿工作始于 20 世纪 60 年代初,1961 年新疆地质局第一区测大队在准噶尔北缘发现了卡拉先格尔铜矿点,70 年代末新疆地质局第五地质大队对其进行了详查,并确定成因类型为斑岩型,但未取得重要突破。此后,学者们将该铜矿带称为“卡拉先格尔斑岩铜矿带”(芮宗瑶等,1984)。80 年代末在东准噶尔琼河坝发现了 202 斑岩铜矿。近年来,继东天山斑岩铜矿勘查取得重大突破后,陆续在准噶尔发现了几个斑岩铜(钼)矿,实现了斑岩铜矿找矿的重要进展。2002 年新疆地质矿产勘探开发局第四地质大队在对“卡拉先格尔斑岩铜矿带”进行重新普查时发现了哈腊苏斑岩铜矿,并进行了详查,确定其规模达到中型($\text{Cu } 332 + 333$ 资源量 17 万吨),随后又发现了玉勒肯哈腊苏斑岩铜矿,目前正在评价中。2002 年新疆有色地质勘查局地质研究所发现了包古图斑岩铜矿,现已探明 $\text{Cu } 334_1$ 资源量为 111 万吨(申萍等,2009)。北京地质矿产研究院于本世纪初发现了希勒库都克小型铜钼矿,目前仍在勘查评价中。在琼河坝一带,近年来斑岩找矿工作也取得了进展,先后发现了蒙西、和尔赛、铜华岭、琼河坝和桑南等斑岩铜(钼)矿。这些矿床的发现表明,准噶尔盆地周边

斑岩铜矿有较大的找矿潜力。前人对包古图、哈腊苏、希勒库都克和蒙西等矿床进行过研究,获得了一批成岩成矿时代、流体包裹体和同位素资料(闫升好等,2006;宋会侠等,2007a;2007b;王登红等,2009;王莉娟等,2009;申萍等,2009;屈迅等,2009;赵战锋等,2009;郭丽爽等,2009;龙灵利等,2010;张志欣等,2010;薛春纪等,2010;杨富全等,2010)。吴淦国等(2008)对新疆北部主要斑岩铜矿带的地质特征进行了总结,并进行了成矿预测,董连慧等(2009)论述了环准噶尔斑岩铜矿带的地质构造背景和形成机制。本文在前人工作的基础上,结合作者对一些矿床的研究,综合论述了新疆准噶尔盆地周边斑岩铜矿的基本特征、时空分布规律,并对其成矿作用进行了探讨。

1 成矿地质背景

新疆准噶尔位于阿尔泰山和天山之间(图 1),向东延至蒙古,向西延到哈萨克斯坦,包括准噶尔盆地、东准噶尔(包括准噶尔北缘)和西准噶尔。在大地构造上属哈萨克斯坦-准噶尔板块的准噶尔北缘古生代活动陆缘和准噶尔古陆。

东准噶尔位于准噶尔盆地北东缘,主要为晚古生代的火山岩、沉积岩和侵入岩,早古生代地层出露较少。中上奥陶统荒草坡群为硅质火山岩建造,岩性为砂岩、泥质粉砂岩、凝灰质砂岩、凝灰岩、页岩,夹灰岩和玄武岩,主要分布在莫钦乌拉山南坡、哈尔雷克山北坡一带。志留系分布于卡拉麦里山南麓,为一套滨海、浅海相陆源碎屑岩,夹碳酸盐岩,浅海

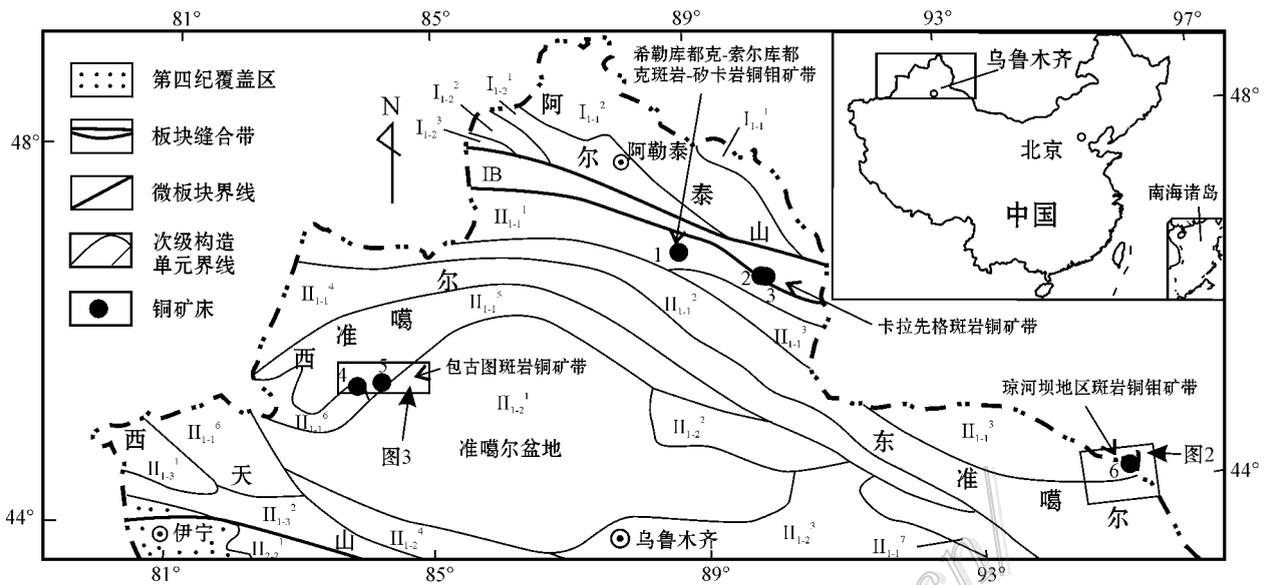


图1 新疆准噶尔主要构造单元和斑岩铜矿分布(据何国琦等 2004)

构造单元: $I_{1.1}^1$ —诺尔特泥盆纪—石炭纪上叠火山—沉积盆地; $I_{1.1}^2$ —喀纳斯—可可托海古生代岩浆弧; $I_{1.2}^1$ —克兰泥盆纪—石炭纪后盆地; $I_{1.2}^2$ —卡尔巴—纳雷姆石炭纪—二叠纪岩浆弧; $I_{1.3}^1$ —西卡尔巴石炭纪弧前盆地; IB—额尔齐斯—布尔根板块缝合带; $II_{1.1}^1$ —萨吾尔晚古生代岛弧; $II_{1.1}^2$ —塔尔巴哈台—阿尔曼泰早古生代岛弧; $II_{1.1}^3$ —三塘湖晚古生代弧间盆地; $II_{1.1}^4$ —谢米斯台—库兰卡孜泥盆纪陆缘火山岩带; $II_{1.1}^5$ —达拉布特—卡拉麦里泥盆纪—石炭纪残余洋盆; $II_{1.1}^6$ —滨巴尔喀什泥盆纪—石炭纪残余洋盆; $II_{1.1}^7$ —哈尔里克古生代岩浆弧; $II_{1.2}^1$ —准噶尔中央地块; $II_{1.2}^2$ —巴塔玛依内山石炭纪上叠火山—沉积盆地; $II_{1.2}^3$ —博格达晚古生代裂陷槽; $II_{1.2}^4$ —依连哈比尔尕晚古生代残余洋盆; $II_{1.3}^1$ —赛里木地块; $II_{1.3}^2$ —博罗霍洛早古生代岛弧; $II_{1.3}^3$ —那拉提早古生代岛弧。矿床名称: 1—希勒库都克; 2—玉勒肯哈腊苏; 3—哈腊苏; 4—阿达依; 5—包古图; 6—云英山—蒙西

Fig. 1 Sketch map showing major tectonic units and distribution of porphyry copper deposits in Junggar, Xinjiang (after He et al., 2004)

Tectonic units: $I_{1.1}^1$ —Devonian-Carboniferous Nurt superposed volcano-sedimentary basin; $I_{1.1}^2$ —Paleozoic Kanas-Koktay magmatic arc; $I_{1.2}^1$ —Devonian-Carboniferous Kiran backarc basin; $I_{1.2}^2$ —Carboniferous-Permian Karba-Narem magma arc; $II_{1.1}^1$ —Late Palaeozoic Sawir island arc; $II_{1.1}^2$ —Early Palaeozoic Tarbahatai -Armandi island arc; $II_{1.1}^3$ —Late Palaeozoic Santanghu interarc basin; $II_{1.1}^4$ —Devonian Xiemistay-Kulakazgan volcanic zone continental margin; $II_{1.1}^5$ —Devonian-Carboniferous Darbut-Kelamaili residual oceanic basin; $II_{1.1}^6$ —Devonian-Carboniferous shore Balkhash residual oceanic basin; $II_{1.1}^7$ —Palaeozoic Karlik magma arc; $II_{1.2}^1$ —Junggar central massif; $II_{1.2}^2$ —Carboniferous Batameylshan superposed volcano-sedimentary basin; $II_{1.2}^3$ —Late Palaeozoic Bogeda rift trough; $II_{1.2}^4$ —Late Palaeozoic Yilianhabirga residual oceanic basin; $II_{1.3}^1$ —Sailimu massif; $II_{1.3}^2$ —Early Palaeozoic Boleheluo island arc; $II_{1.3}^3$ —Early Palaeozoic Nalati island arc. **Ore deposits:** 1—Xilekuduke; 2—Yulekenhalasu; 3—Halasu; 4—Adyi; 5—Baogutu; 6—Yunyingshan-Mengxi

相火山沉积建造。泥盆系广泛分布,下泥盆统为浅海相火山碎屑岩-正常碎屑岩,中泥盆统为深海-浅海-海陆交互相沉积,上泥盆统为火山碎屑岩-正常碎屑岩夹玄武安山岩。石炭系广泛分布,岩相变化较大,下石炭统为海相、海陆交互相和陆相正常碎屑岩、火山碎屑岩。中石炭统为陆相含煤粗碎屑岩,浅海相碎屑岩夹灰岩,火山碎屑岩-火山熔岩。上石炭统为火山-沉积岩系。二叠系为陆源碎屑岩和双峰式火山岩,三叠系为河流相及湖沼相沉积,侏罗系为含煤岩系。东准噶尔地区晚古生代侵入岩发育,同碰撞中酸性侵入岩沿卡拉麦里深断裂两侧及琼河坝一带分布,超基性岩沿断裂带分布。后碰撞碱性花岗岩

和含铜镍矿镁铁质侵入岩分布在卡拉麦里深断裂北侧及准噶尔北缘,岩体时代为 307~265 Ma (Han et al., 2004; 韩宝福等 2006; Mao et al., 2008; 杨富全等 2008)。

西准噶尔主要为泥盆纪和石炭纪海相火山-沉积岩,其次为蛇绿岩、奥陶系和志留系。区内发育多条蛇绿岩带,其中达拉布特蛇绿岩带是区内最大的蛇绿混杂岩带,另外还有唐巴勒、克拉玛依、洪古勒楞蛇绿岩等。志留系主要分布于玛依勒山区一带,为海相细碎屑岩、凝灰质砂岩夹安山岩和玄武岩。泥盆系主要分布于铁列克提河流域、巴尔雷克山、玛依勒山、萨吾尔山等,为一套陆源碎屑岩、火山碎屑

岩、火山熔岩。达拉布特-包古图地区以下石炭统希贝库拉斯组、包古图组和太勒古拉组分布最广泛,为一套与深海相火山活动有关的火山复理石沉积建造。二叠系主要出露于萨吾尔山北坡和白碱滩北部,三叠系为沉积岩、侏罗系为火山-沉积岩、白垩系为含油砂岩(安芳等,2009)。西准噶尔地区中酸性侵入岩发育,呈岩基、岩株和岩枝,岩性复杂,为闪长岩、石英闪长岩、花岗闪长岩、二长花岗岩、碱性花岗岩等。中酸性小岩株具有埃达克岩特征,时代为315~310 Ma,与斑岩铜矿有关(张连昌等,2006;唐功建等,2009;Liu et al.,2009)。花岗岩基形成于后碰撞环境,主要时代为晚石炭世—早二叠世(310~295 Ma,韩宝福等,2006)。萨吾尔山后碰撞花岗岩时代略早于达拉布特-包古图地区的花岗岩时代,为早石炭世晚期(328~313 Ma,袁峰等,2006)。

2 准噶尔斑岩铜矿时空分布

新疆准噶尔盆地周边地区已发现的斑岩铜矿和铜钼矿在空间上分布于西准噶尔、东准噶尔和准噶尔北缘(图1)。根据成岩成矿时代和空间分布划分出4个成矿带,即晚志留世—早泥盆世琼河坝地区斑岩铜钼矿带、中泥盆世卡拉先格斑岩铜矿带、早石炭世希勒库都克-索尔库都克斑岩-砂卡岩铜钼矿带和晚石炭世包古图斑岩铜矿带。近年来,在东准噶尔琼河坝一带发现数个斑岩铜矿床(点),如蒙西铜钼矿、和尔赛斑岩铜矿、铜华岭斑岩铜矿、琼河坝斑岩铜矿和桑南斑岩铜矿等(图2),成矿作用主要与晚志留世—早泥盆世初的斑岩侵入活动有关。准噶尔北缘的卡拉先格尔一带发现的斑岩矿床(点)位于额尔齐斯-玛因鄂博大断裂的南侧,包括玉勒肯哈腊苏中型铜矿、哈腊苏(或哈腊苏I号矿段)中型铜矿、卡拉先格尔铜矿(或哈腊苏II号矿段、奥尔塔哈腊苏矿段)和老山口铜矿(或哈腊苏III号矿段、老山口矿段),主要成岩成矿时代为中泥盆世。在希勒库都克-索尔库都克一带发现了希勒库都克斑岩铜钼矿床和索尔库都克砂卡岩型铜钼矿床,前者的成矿时代为早石炭世。在西准噶尔包古图一带,已发现的矿床及矿化点分布于达拉布特大断裂两侧,包括包古图大型铜(钼)矿床、包古图I号岩体铜矿点、包古图II号岩体铜矿点、包古图III号岩体铜矿点、包古图VIII号岩体铜矿点、阿达依铜矿点等(图3),成矿作用与

晚石炭世小斑岩体侵入有关。准噶尔主要斑岩铜矿床(点)特征见表1。

准噶尔地区与成矿有关的斑岩侵位时代主要为晚志留世、早泥盆世初、中泥盆世、早石炭世和晚石炭世(见下文讨论)。斑岩类型为花岗闪长斑岩、斜长花岗斑岩、(石英)闪长玢岩、二长花岗斑岩、似斑状闪长岩、花岗闪长岩、石英闪长斑岩、英安斑岩、流纹斑岩。斑岩铜矿形成的构造环境有大陆岛弧(如琼河坝斑岩铜矿带)、大洋岛弧(如卡拉先格尔斑岩铜矿带、包古图斑岩铜矿带)和后碰撞环境(如希勒库都克)(Zhang et al.,2006;张连昌等,2006;王玉往等,2008;董连慧等,2009;唐功建等,2009;龙灵利等,2010)。

3 主要矿床特征

3.1 蒙西铜钼矿

伊吾县蒙西(又称202、云英山、桑德乌兰)斑岩铜钼矿床,位于东准噶尔琼河坝地区。大地构造上属东准噶尔库兰卡孜干-北塔山-纸房-琼河坝岛弧带东段(图2)。1988~1990年,国家305项目办公室在1:20万化探扫面时,发现了202铜矿点。1991年,新疆地矿局第二区域调查大队对斑岩铜矿进行了评价。2006年开始新疆地质矿产勘探开发局第一地质大队在矿区东段开展进一步找矿评价工作时,新发现了具有一定规模的铜钼矿体,并将该区段称为蒙西铜钼矿。

矿区出露地层主要为奥陶纪砂岩、片岩、凝灰岩、火山熔岩和大理岩(也有人认为是早泥盆世,如陈仁义等,1995;王晓地等,2006;王登红等,2009),矿区北部出露石炭纪火山碎屑岩和沉积岩。矿区发育2条NW向区域性断裂(F_1 和 F_2)和1条NE向断裂。NW向断裂控制区内斜长花岗斑岩、二长花岗斑岩和矿化蚀变带分布。含矿斑岩主要为斜长花岗斑岩、闪长玢岩和二长花岗斑岩。云英山斜长花岗斑岩体侵位于奥陶纪地层中,斑岩体是琼河坝杂岩体的晚期产物,由6个大致平行而形状不规则的岩枝组成,呈NW向,长约2.8 km,宽约0.6 km,总面积约1.7 km²(王晓地等,2006)。含矿岩体为钙碱性系列,富Pb、K、Sr、U、Th和Zr,贫Rb、Nb、Ta、Y、Yb和Ti,富集轻稀土元素,表明含矿岩体形成于大陆岛弧环境(屈迅等,2009)。

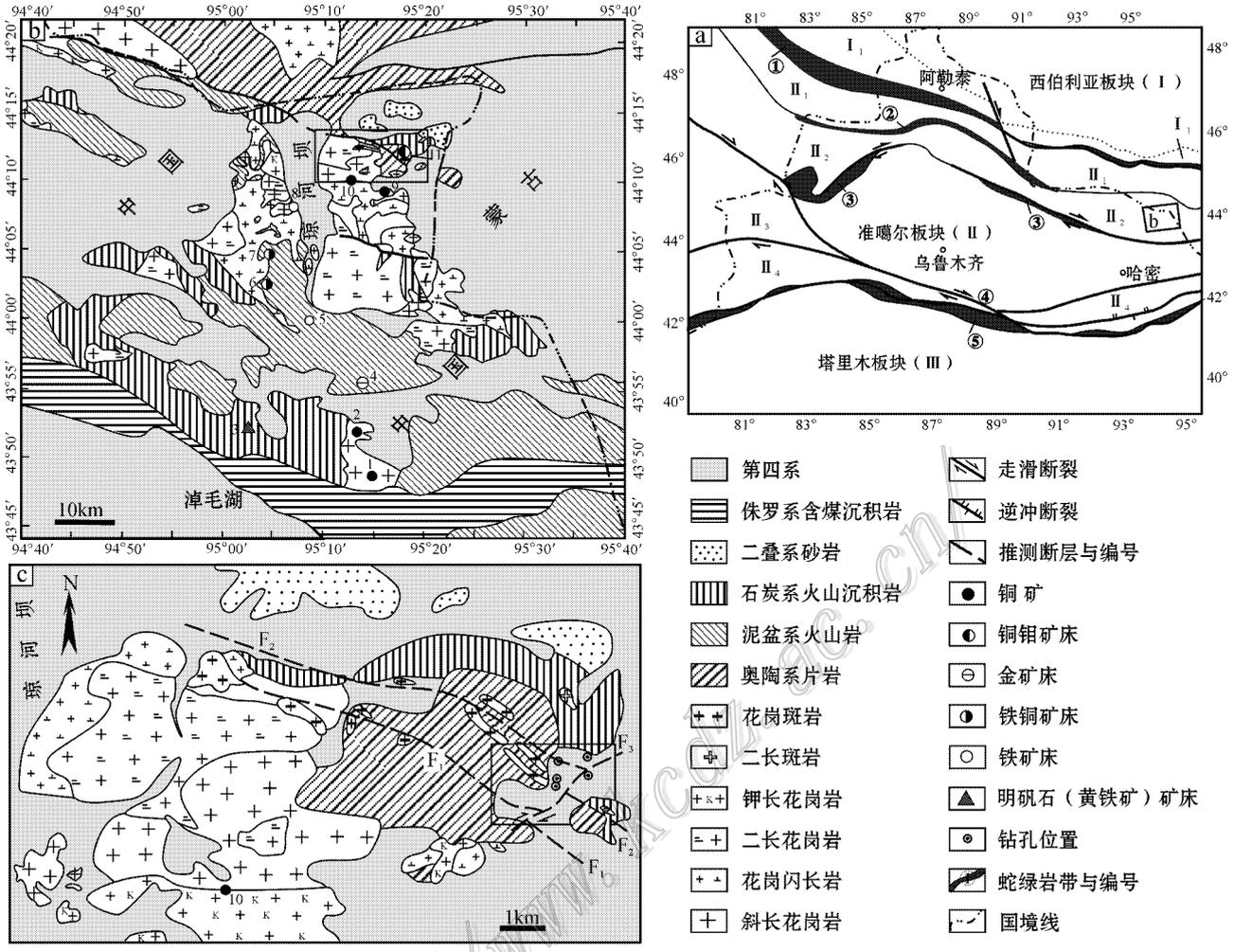


图2 蒙西铜钼矿床大地构造位置(a)区域地质图(b)和矿田地质图(c)(据屈迅等 2009 修改)

图 a 中的蛇绿岩带:①乔夏哈拉-布尔根蛇绿岩带,②阿尔曼台-洪古勒楞-塔城蛇绿岩带,③卡拉麦里-达拉布特/克拉玛依-唐巴勒蛇绿岩带;④冰大坂-干沟-却勒塔格蛇绿岩带,⑤长阿吾子-那拉提-古洛沟-库米什-红柳河蛇绿岩带。图 a 中大地构造单元划分:I—西伯利亚板块, I₁—阿尔泰山南缘古生代弧盆系统;II—哈萨克斯坦-准噶尔板块, II₁—萨吾尔山晚古生代大洋岛弧, II₂—谢米斯台-库兰卡孜干-纸房-琼河坝古生代岛弧, II₃—准噶尔-吐哈地块, II₄—天山地区古生代复合弧盆系统;III—塔里木板块。图 b 与图 c 中矿床名称:1—和尔赛铜矿;2—铜华岭斑岩铜矿;3—淖毛湖明矾石(黄铁矿)矿;4—北山金矿;5—琼河坝铁矿;6—宝山铁铜矿;7—绿石沟铁铜矿;8—灰西沟铁矿;9—桑南斑岩铜矿;10—琼河坝斑岩铜矿;11—桑德乌兰(云英山)蒙西斑岩铜钼矿

Fig. 2 Location (a), regional geologic map (b) and ore district map (c) of the Mengxi Cu-Mo deposit (modified after Xu et al., 2009)

Ophiolite belts: ① Qiaoxiala-Buergen; ② Aermantai-Hongguleleng-Tacheng; ③ Kelameili-Darabut/Karamay-Tanbale; ④ Bindaban-Gangou-Queletage; ⑤ Changawuzi-Nalati-Guluogou-Kumisi-Hongliuhe; **Tectonic units:** I—Siberian plate; I₁—Paleozoic arc-basin system in Altay area; II—Kazakhstan-Junggar plate; II₁—Sawuer Late Paleozoic island arc; II₂—Xiemisitai-Kulankazigan-Zifang-Qiongheba Paleozoic arc; II₃—Junggar-Tuha block; II₄—Tianshan Paleozoic arc-basin system; III—Tarim plate. **Deposits in diagrams b and c:** 1—Heersai porphyry deposit; 2—Tonghualin porphyry deposit; 3—Naomaohu alunite (pyrite) deposit; 4—Beishan gold deposit; 5—Qiongheba iron deposit; 6—Baoshan iron-copper deposit; 7—Lushigou iron-copper deposit; 8—Huixigou iron deposit; 9—Sangnan porphyry copper deposit; 10—Qiongheba porphyry copper deposit; 11—Sangdewulan (Yunyingshan) Mengxi porphyry copper-molybdenum deposit

铜钼矿化呈浸染状分布于斜长花岗斑岩体内,围岩中也有少量矿化。已控制矿化体长 1.7 km,在云英山矿段,以边界品位 0.2% 共圈定矿体 12 个,矿化体 13 个。 $w(\text{Cu})$ 一般为 0.2%, 最高为 1.29%,

伴生钼、钨。蒙西矿段在地表圈定铜矿体 3 个,铜矿化体 9 个。铜矿体呈脉状,一般长 80~90 m,最长 490 m,厚 1~2 m,最厚 7.5 m,含铜平均品位 $w(\text{Cu})$ 0.6%。矿区深部为铜钼矿化,如 ZK1401 全孔位铜

表1 新疆准噶尔斑岩铜矿特征

Table 1 Characteristics of porphyry copper deposits in Junggar, Xinjiang

矿床名称	位置	大地构造	赋矿岩系	构造	含矿斑岩	围岩蚀变	矿石中金属矿物	矿脉中非金属矿物	矿体规模/m	矿床规模	矿石品位	资料来源
包古图铜相矿	托里县	洋内岛弧环境	下石炭统火山-碎屑岩建造	达尔布特深大断裂下盘, 近SN向断裂和NE向断裂	似斑状(石英)闪长岩、花岗闪长岩、隐爆角闪岩	钾长石化、硅化、黑云母化、绢云母化、绿帘石化、绿帘石化、沸石化	黄铁矿、黄铜矿、毒砂、磁黄铁矿、辉钨矿、闪锌矿、自然铜	石英、钾长石、绿泥石、绢云母及黑云母	1100×800, 深度大于700	大型: Cu 334t, 资源量为111万吨	Cu: 0.28%, Mo平均品位>0.01%, Au: 平均品位0.25g/t	张锐等, 2005; 宋会侠等, 2007a; 2007b; 申萍等, 2009
阿依达铜相矿	托里县	洋内岛弧环境	钾长花岗岩、花岗闪长岩(斑)岩	达尔布特深大断裂上盘, 近EW向断裂	花岗岩	钾化、绢云母化、黄铁矿化、硅化及绿泥石化	黄铜矿、黄铁矿、辉钨矿、孔雀石、辉铜矿	石英、钾长石、斜长石、绢云母及绿泥石	小型	小型	Cu: 0.06% ~ 0.56%, Au: 0.12 ~ 0.18 g/t	新疆有色地质勘查局, 2007
哈腊苏铜矿	青河县	大洋岛弧环境	中泥盆统北塔山组火山碎屑岩-花岗岩	玛因鄂博大断裂南侧, NNW向、NW向断裂	花岗闪长斑岩和石英闪长斑岩	钾长石化、硅化、绿帘石化、方解石化	以黄铜矿、黄铁矿为主, 其次有斑铜矿、磁铁矿、辉钨矿	钾长石、黑云母、角闪石、绿帘石、绿泥石、方解石、石英	矿体长365~750 m, 延深100~500 m, 宽20~110 m	中型: Cu 332 + 333 资源量 17.11万吨	Cu: 0.3% ~ 0.46%, 最高2.26%	闫升好等, 2006; 杨富全等, 2010
哈腊苏II号铜矿化带	青河县	大洋岛弧环境	中泥盆统北塔山组玄武岩、凝灰岩、凝灰质砂岩	玛因鄂博大断裂南侧	花岗闪长斑岩	钾长石化、黑云母化、石英化、绢云母化、青磐岩化	黄铁矿、黄铜矿、铜蓝、孔雀石、蓝铜矿、斑铜矿、辉铜矿	钾长石、黑云母、角闪石、绿帘石、方解石、石英	30个矿体, 矿体长30~254m, 宽一般1~3m, 最宽15.08m	小型	Cu: 0.74% ~ 1.02%	吴益国等, 2008
玉勒肯哈腊苏铜矿	青河县	大洋岛弧环境	中泥盆统北塔山组玄武岩、下石炭统姜巴斯套组炭质板岩、凝灰质砂岩	玛因鄂博大断裂南侧	花岗闪长斑岩	钾长石化、硅化、绿帘石化、少量绿帘石化、绢云母化、黑云母化、石膏化、碳酸盐化	黄铁矿、黄铜矿、磁黄铁矿、磁铁矿、辉钨矿	钾长石、斜长石、石英、斜长石、绿帘石、绢云母、绿帘石	5个矿体, I ₂ 矿体为主要矿体, 长350 m, 平均视厚度42.2 m, 最大延深460 m	中型	Cu: 0.23%~1.42%, Au: 平均品位0.12~0.82g/t	新疆地勘局第四地质大队, 2008
希勒库都克铜矿	富蕴县	后碰撞环境	下石炭统南明水组火山碎屑岩	NW向断裂	花岗岩、英安斑岩、石英闪长岩	钾化、硅化、绢云母化、粘土化、青磐岩化、碳酸盐化	黄铁矿、黄铜矿、辉钨矿、磁铁矿	石英、钾长石、黑云母、绢云母	脉状, 地表矿化大于100 m, 宽40 m, 延深超过600 m	小型	Cu: 0.2% ~ 0.4%	王莉娟等, 2008; 龙灵利等, 2010
云英山铜矿段	伊吾县	陆缘弧环境	奥陶纪砂岩、片岩、凝灰岩、火山熔岩和大理岩	NW向断裂	斜长花岗岩	钾长石化、云英岩化、绢云母化、泥化、硅化、青磐岩化	黄铁矿、黄铜矿、辉钨矿	钾长石、斜长石、石英、黑云母、绢云母	矿体12个, 矿体长13个	小型	Cu: 一般为0.2%, 最高为1.29%	王晓地等, 2006
蒙西铜相矿段	伊吾县	陆缘弧环境	奥陶纪砂岩、片岩、凝灰岩、火山熔岩和大理岩	NW向断裂	斜长花岗岩、闪长斑岩、二长花岗岩	角闪石化、钾长石化、云英岩化、泥化、硅化和青磐岩化、萤石化	黄铜矿、辉钨矿、黄铁矿、辉铜矿、磁铁矿	长石、石英、黑云母、绢云母、白云石	地表铜矿体3个, 矿体9个, 长80~490 m, 厚1~7.5 m; 深部为铜钼矿体, 视厚度7.8~70.74 m	中型	Cu: 平均品位为0.22%~0.6%; Mo: 平均品位0.01%~0.034%	屈迅等, 2009

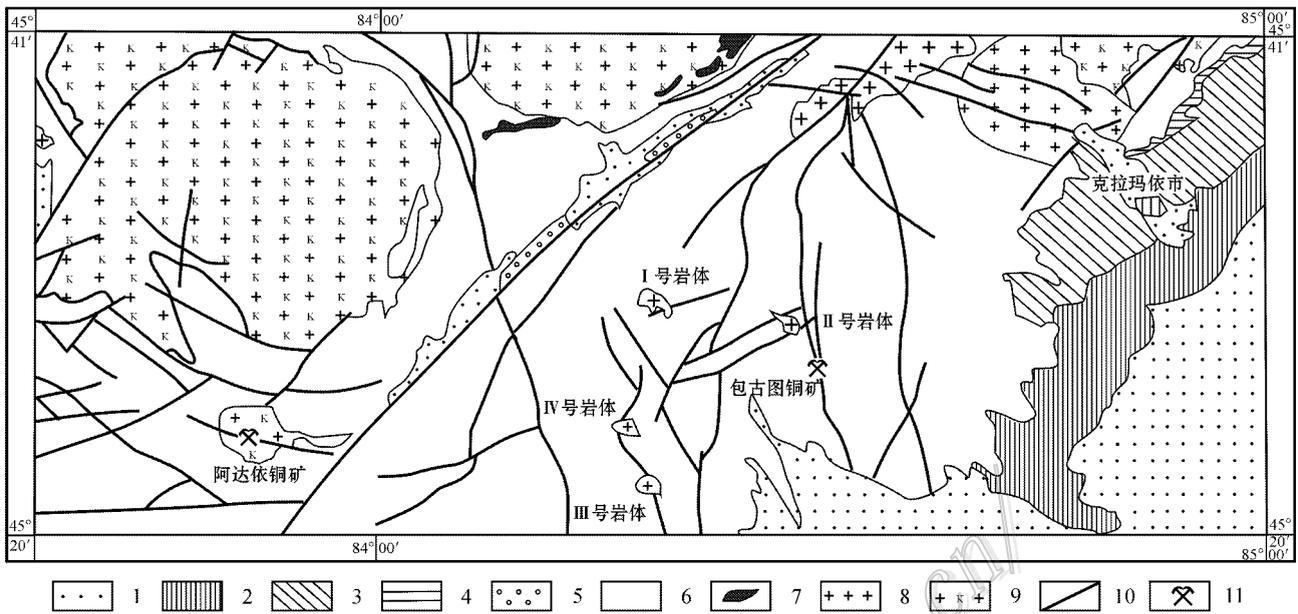


图3 包古图斑岩铜矿带区域地质略图(新疆有色地质勘查局 2007)

1—第四系沉积物;2—下白垩统碎屑岩;3—侏罗系碎屑岩;4—上三叠统碎屑岩;5—下二叠统类磨拉石建造;6—石炭系火山-沉积岩;
7—超基性岩;8—花岗岩;9—钾长花岗岩;10—断裂;11—矿床

Fig. 3 Simplified regional geological map of the Baogutu porphyry copper metallogenic belt (modified after Xinjiang Geosurvey Bureau for Nonferrous Metals, 2007)

1—Quaternary sediments;2—Lower Cretaceous clastic rocks;3—Lower Jurassic clastic rocks;4—Upper Triassic clastic rocks;
5—Lower Permian molasse formation;6—Carboniferous volcanic-sedimentary rocks;7—Ultrabasic rock;8—Granite;9—Moyite;
10—Fault;11—Ore deposit

钼矿化,上部圈定3层铜矿体,累计视厚度17.70 m,铜平均品位(质量分数,下同)为0.22%,钼平均品位0.018%;下部圈出4层铜钼矿体,累计视厚度53 m,铜平均品位0.22%,钼品位0.034%。ZK1402圈出9层铜钼矿体,视厚度7.8~70.74 m,累计视厚度207.93 m;含铜品位0.21%~0.33%,平均品位为0.25%,含钼品位0.01%~0.034%(屈迅等 2009)。地表矿化类型以浸染状为主,细脉浸染状次之。矿区深部矿化为浸染状和细脉状,主要分布在闪长玢岩与二长花岗斑岩中。矿石中金属矿物主要有黄铜矿、辉钼矿、黄铁矿、辉铜矿、磁铁矿等,非金属矿物主要有长石、石英、黑云母、绢云母、白云石等。

岩体与围岩蚀变均十分强烈,主要为钾长石化、云英岩化、泥化、硅化和青磐岩化、萤石化,并具明显的蚀变分带特征。由内向外可划分为3个蚀变带:内带为钾化带,主要矿物组合为钾长石+绢云母+石英±黑云母,以钾长石发育为特征;中带为泥化带,主要矿物组合为绢云母+石英+高岭石,叠加于钾长石化带之上;外带为青磐岩化带,主要矿物组合

为绿泥石+绿帘石+碳酸盐。

3.2 包古图铜矿

托里县包古图斑岩铜矿床位于西准噶尔造山带达拉布特大断裂南侧,大地构造上属达拉布特-卡拉麦里泥盆纪—石炭纪残余洋盆(何国琦等,2004)。该矿床于2002年被新疆有色地质勘查局地质研究所发现,现已探明Cu 334₁资源量为111万吨,成为新疆准噶尔地区最大的斑岩铜矿床(申萍等 2009)。

矿区出露地层为下石炭统希贝库拉斯组、包古图组和太勒古拉组,凝灰岩中锆石U-Pb年龄分别为357 Ma、328~342 Ma和336 Ma(安芳等 2009;郭丽爽等 2010)。希贝库拉斯组主要由厚层凝灰质含砾杂砂岩与凝灰质粉砂岩互层组成;包古图组由薄层状凝灰质粉砂岩与沉凝灰岩互层组成;太勒古拉组由凝灰岩、凝灰质粉砂岩夹玄武岩、硅质岩等组成。矿区断裂构造十分发育,至少可以划分为3期:早期近SN向的断裂、中期NE向和近EW向断裂及晚期SN向断裂,其中早期近SN向断裂为控矿断裂。包古图矿区及外围已发现含铜斑岩体8个,其中V号

岩体铜矿化最为发育。V号岩体侵位于包古图组和希贝库拉斯组中,地表出露面积约 0.84 km^2 。岩性以似斑状闪长岩为主,其次是花岗闪长岩、似斑状石英闪长岩,闪长玢岩脉,深部发育隐爆角砾岩。II、III、IV和V号含矿斑岩的主量和微量元素具有埃达克岩特征,形成于与洋内俯冲有关的岛弧环境(张连昌等,2006;唐功建等,2009)。

V号岩体矿化范围大,基本达到全岩矿化,钻孔控制的矿化范围为 $1\ 100\text{ m}\times 800\text{ m}$,深度大于 700 m 。部分钻孔在 $300\sim 700\text{ m}$ 范围内出现富矿体,呈脉状,Cu平均品位大于 0.4% 。岩体浅部主要是浸染状矿化,向深部($250\sim 300\text{ m}$ 以下)为浸染状和细脉-网脉状矿化,在岩体的边部以及外接触带的局部地段见有中细脉状($10\sim 50\text{ cm}$)矿化(申萍等,2009)。矿石构造主要有浸染状、斑杂状、细脉-浸染状、细脉状、网脉状、角砾状构造等。矿石中主要金属矿物为黄铁矿、黄铜矿、毒砂、磁黄铁矿、辉钼矿、闪锌矿、辉铜矿、自然铜、赤铜矿等,此外还有钛铁矿、银金矿及碲铋类矿物等。脉石矿物主要为石英、钾长石、绿泥石、绢云母、黑云母、金红石、楣石等。矿石中Cu平均品位 0.28% ,伴生Mo(平均品位 $>0.01\%$,局部达 0.8%)、Au(平均品位 0.25 g/t ,局部达 4 g/t)、Ag(平均品位 2.8 g/t)^①。

围岩蚀变分为4个带:钾化带,主要矿物组合为钾长石+黑云母;石英绢云母化带,主要矿物组合为绢云母+石英+黄铁矿±钾长石;青磐岩化带,矿物组合为绿泥石+黝帘石+方解石+钠长石±沸石;沸石-碳酸盐化带,矿物组合为柱沸石+浊沸石+方解石+石英±钠长石。早期浸染状矿化与钾化关系密切,晚期细脉浸染状矿化与石英绢云母化有关。将包古图斑岩铜矿的成矿作用分为3个阶段:第I阶段(黑云母-钾长石-钠长石阶段),主要形成黑云母、钾长石、钠长石及浸染状黄铁矿、黄铜矿、毒砂、闪锌矿。第II阶段(石英-硫化物阶段),主要形成石英及硫化物,早期形成细脉-网脉状和斑杂状黄铜矿、黄铁矿、磁黄铁矿;晚期主要形成脉状和团块状黄铜矿、黄铁矿、辉钼矿等。第III阶段(柱沸石碳酸盐阶段),主要形成含黄铜矿、黄铁矿石英碳酸盐细脉、柱沸石碳酸盐细脉,且形成了含Te-Bi-Ag-Au矿物,如硫碲铋矿、辉碲铋矿、叶碲铋矿等碲铋类矿物

和辉铋铜矿、碲银矿、银-硫铋铜矿(宋会侠等,2007a)。钛矿物组合表明,包古图斑岩含矿斑岩形成于较高氧逸度环境,侵位深度不大(魏斐等,2009)。

3.3 哈腊苏铜矿

青河县哈腊苏(或希勒特克哈腊苏、哈腊苏I号矿带)铜矿位于准噶尔北缘,构造上位于NW向额尔齐斯-玛因鄂博大断裂与NNW向可可托海-二台断裂的交汇部位。大地构造上属萨吾尔晚古生代岛弧带(何国琦等,2004)。20世纪60年代初,新疆地质局区测大队在准噶尔北缘卡拉先格尔一带发现了2处斑岩铜矿点。2002年新疆地质矿产勘探开发局第四地质大队对“卡拉先格尔斑岩铜矿带”进行重新普查时发现了哈腊苏铜矿,确定其规模为中型($\text{Cu}\ 332+333$ 级资源量为17万吨)^②。

矿区出露中泥盆统北塔山组海相中基性火山岩-火山碎屑岩建造,第一岩性段为主要赋矿层位,由辉(斜)斑玄武岩、玄武岩、玄武安山岩、安山岩、局部夹粉(细)砂岩组成。第二岩性段以碳质粉砂岩(板岩)(含碳质)凝灰质粉砂岩、凝灰岩、硅质岩、砂岩、含砾砂岩为主,局部夹玄武岩。矿区内侵入岩广泛发育,主要岩石类型有石英闪长斑岩、闪长斑岩、石英闪长岩、花岗闪长斑岩、正长斑岩、花岗斑岩、二长花岗岩、钾长花岗岩等。其中花岗闪长斑岩和石英闪长斑岩为含矿岩体,花岗闪长斑岩宽 $50\sim 200\text{ m}$,长大于 $1\ 000\text{ m}$ 。岩石地球化学和同位素特征表明斑岩形成于岛弧环境(Zhang et al., 2006),部分含矿斑岩具有埃达克岩特征(杨文平等,2005;万博等,2006)。矿区内断裂发育,按走向分为NNW向、NW向和近SN向。NNW向断裂控制着含矿斑岩体及铜矿化。

矿化受斑岩体(花岗闪长斑岩和石英闪长斑岩)及接触带控制。矿化体由矿化岩体及其两侧的围岩(玄武岩、辉斑玄武岩、玄武安山岩)组成,平面上呈NW-SE向。已控制了5个矿体,其中 $I_1\sim I_4$ 号矿体走向投影长 $365\sim 750\text{ m}$,延深 $100\sim 500\text{ m}$,矿体宽 $20\sim 110\text{ m}$,每个矿体均由低品位矿体和工业矿体组成。 I_2 号矿体规模最大,工业矿体走向长约 750 m (据王祥等,2008^②)。矿体呈透镜状、不规则脉状、分支脉状,与围岩呈渐变关系。

① 张锐,张云孝,许发军,等. 2002. 新疆托里县包古图斑岩铜金矿预查地质报告. 1-20.

② 王祥,陈新杰,夏焱,罗世宾,王保先,牛春蕊,常根营. 2008. 新疆青河县哈腊苏铜矿I号矿床详查地质报告. 1-198.

矿石类型主要为黄铁矿黄铜矿矿石及少量的含辉钼矿黄铜矿矿石。矿石构造有浸染状、细脉-浸染状、网脉状、脉状和团块状构造。矿石结构有他形-半自形粒状结构、自形粒状结构、交代残余结构、碎裂结构。矿石中金属矿物以黄铜矿和黄铁矿为主, 次为斑铜矿、磁铁矿、辉钼矿、黝铜矿、钛磁铁矿等。非金属矿物有钾长石、黑云母、角闪石、绿帘石、绿泥石、方解石、绢云母、石英、高岭石。铜矿石的品位与石英-硫化物金属脉发育程度有关, 在高品位地段, 黄铜矿和黄铁矿与石英脉共生, 并呈细脉密集发育。工业矿体 Cu 平均品位变化于 $0.45\% \sim 0.56\%$, 低品位矿体 Cu 平均品位变化于 $0.25\% \sim 0.26\%$ 。矿石中伴生金, 其品位一般为 $0.17 \sim 0.83 \text{ g/t}$, 最高 2.21 g/t , 其含量大致与铜含量成正相关。

热液蚀变发育, 主要有钾长石化、黑云母化、硅化、绢云母化、绿帘石化、绿泥石化、方解石化等, 其中, 钾长石化、硅化与铜矿化关系密切。蚀变分带不明显, 但从岩体向外大致分为钾长石化、强黑云母化、弱黑云母化、青磐岩化 4 个带(吴淦国等, 2008)。成矿作用划分为 3 期(张招崇等, 2006)^①, 斑岩期为主成矿期, 形成围绕斑岩体的面型蚀变(如钾长石化)、浸染状矿化和贫矿体, 又可进一步划分为 3 个成矿阶段, 即磁铁矿阶段、黄铜矿-黄铁矿-钾硅酸盐阶段和青磐岩化阶段; 热液期以发育石英-钾长石团块/脉、石英-硫化物脉为特征, 叠加于钾硅酸盐化花岗闪长斑岩之上, 往往沿构造裂隙呈线状分布, 形成富矿体, 进一步分为 2 个阶段, 即石英-钾长石阶段和石英-黄铜矿-黄铁矿阶段; 表生期形成褐铁矿、孔雀石、蓝铜矿、高岭石。

3.4 希勒库都克钼铜金矿

希勒库都克钼铜金矿床位于新疆准噶尔北缘, 北距富蕴县城约 40 km , 是北京地质矿产研究院近年来发现的小型铜钼金矿床(王书来等^②, 2008)。该矿区地处准噶尔-哈萨克斯坦板块的北准噶尔造山带, 属沙尔布拉克-阿克塔斯构造岩浆活动带。

矿区地层主要为下石炭统南明水组一套含火山物质的陆源碎屑岩建造, 由砂岩、(碳质)粉砂岩、千枚岩和绢云母片岩等组成。矿区侵入岩以中北部的花岗闪长岩体和南部的闪长岩体为主, 侵入于南明

水组中。矿区内岩脉发育, 一般宽几米至几十米, 主要类型有闪长(玢)岩脉、石英斑岩脉、安山玢岩脉、英安斑岩脉、花岗斑岩脉、(石英)正长岩脉等。安山玢岩是矿区酸性的花岗闪长质与基性的闪长质岩浆发生混合作用进一步演化形成的(王玉往等, 2008)。

铜钼矿化位于花岗闪长岩体东南边缘, 含矿斑岩为英安斑岩、流纹斑岩、石英闪长玢岩和石英闪长岩, 这些岩体均发育矿化和蚀变。矿化主要产于斑岩体上、下盘 $5 \sim 20 \text{ m}$ 宽的范围内, 一般呈细脉和网脉状, 部分为浸染状。地表矿化长大于 100 m 、宽 40 m , 延深超过 600 m 。在垂向上, 矿化有一定分带性, 浅部以钼矿化为主, 向深部铜、钼矿化并存。总体上, 侵入体和围岩中均发育石英脉, 辉钼矿主要与石英脉伴生产出, 分布在石英脉壁上, 较深部有少量浸染状辉钼矿, 黄铜矿主要以浸染状分布于侵入岩和围岩中, 发育于相对较深部位; 而铜钼矿化与石膏脉、磁铁矿脉伴生产出, 相对较少。矿石构造以浸染状、细脉浸染状及脉状为主。矿石矿物主要为辉钼矿、黄铜矿、黄铁矿。矿石组合类型主要有: 石英-辉钼矿-黄铁矿、辉钼矿-磁铁矿-黄铜矿、石膏-黄铜矿-辉钼矿、黄铜矿化(王莉娟等, 2008)。

围岩蚀变以斑岩体内外的钾长石化, 并在岩体内发育绢云母化+伊利石化+绿帘石化, 向外发育绿泥石化为特征, 深部发育砂卡岩化, 但未见形成强烈硅化; 与铜矿化有关的蚀变以绿泥石化、绿帘石化为主, 与钼矿化有关的蚀变主要为硅化、钾长石化、绢云母化、碳酸盐化(王莉娟等, 2008)。

4 准噶尔斑岩铜矿成岩成矿时代

前人对准噶尔斑岩铜矿含矿斑岩和成矿时代进行了高精度测年(表 2), 限定了成岩成矿时代, 不同地区成矿时代有明显差异。东准噶尔琼河坝地区铜华岭铜矿区闪长玢岩、英云闪长岩和二长花岗岩年龄分别为 427 Ma 、 422 Ma 和 418 Ma (郭丽爽等, 2009); 斑岩铜矿化分布在岩体中, 并受岩浆热液控制, 因此推断成矿时代略晚于岩体侵入时代, 为晚志留世($427 \sim 418 \text{ Ma}$?)。蒙西矿区含矿斜长花岗斑岩为 $(411.7 \pm 7.1) \text{ Ma}$ (王登红等, 2009), 辉钼矿 $Re-$

① 张招崇, 闫升好, 陈柏林, 周刚, 何立新, 柴凤梅, 张作衡. 2006. 阿尔泰铜矿带东段找矿靶区优选及评价. 国家科技攻关 305 项目(2001BA609A-07)研究报告. 1-386.

② 王书来. 2006. 新疆富蕴县希勒库都克地区铜钼金矿预查报告.

表 2 新疆准噶尔斑岩矿床成岩成矿时代

Table 2 Geochronological data of porphyry copper deposits in Junggar, Xinjiang

矿床名称	岩石或矿物	测试方法	年龄/Ma	资料来源
盘古图铜矿	II 号岩体石英闪长斑岩	锆石 LA-ICP-MS U-Pb 法	314.9 ± 1.7	唐功建等, 2009
	III 号岩体闪长玢岩	锆石 LA-ICP-MS U-Pb 法	313.9 ± 2.6	唐功建等, 2009
	V 号岩体石英闪长斑岩	锆石 LA-ICP-MS U-Pb 法	309.9 ± 1.9	唐功建等, 2009
	V 号岩体花岗闪长岩	锆石 SHRIMP U-Pb 法	311.4 ± 3.3	Liu et al., 2009
	成矿期黑云母	K-Ar 法	296.0 ± 3.7	Liu et al., 2009
	成矿期黑云母	K-Ar 法	297.3 ± 3.8	Liu et al., 2009
	辉钼矿	Re-Os 法	310 ± 3.6	宋会侠等, 2007b
哈腊苏铜矿	花岗闪长斑岩	锆石 SHRIMP U-Pb 法	381 ± 6	Zhang et al., 2006
	喀拉萨依二长闪长斑岩	锆石 SHRIMP U-Pb 法	376 ± 10	Zhang et al., 2006
	花岗闪长斑岩	锆石 SHRIMP U-Pb 法	375.2 ± 8.7	吴淦国等, 2008
	石英闪长斑岩	锆石 SHRIMP U-Pb 法	215.8 ± 4.6	薛春纪等, 2010
	辉钼矿	Re-Os 法	378.3 ± 5.6	杨富全等, 2010
	辉钼矿	Re-Os 法	376.9 ± 2.2	吴淦国等, 2008
	钾长石	Ar-Ar 法	230.0 ± 1.9	闫升好等, 2006
哈腊苏 II 号铜矿化带	花岗闪长斑岩	锆石 LA-ICP-MS U-Pb 法	390.2 ± 4.9	相鹏等, 2009
哈腊苏 III 号铜矿化带	花岗闪长斑岩	锆石 LA-ICP-MS U-Pb 法	393.3 ± 9.8	相鹏等, 2009
玉勒肯哈腊苏铜矿	似斑状花岗岩	锆石 LA-ICP-MS U-Pb 法	381.6 ± 2.5	赵战锋等, 2009
	石英二长斑岩	锆石 LA-ICP-MS U-Pb 法	265.6 ± 3.7	赵战锋等, 2009
	辉钼矿	Re-Os 法	373.9 ± 2.2	杨富全未刊资料
	钾长石	Ar-Ar 法	269.2 ± 3.2	薛春纪等, 2010
	钾长石	Ar-Ar 法	198~206	薛春纪等, 2010
希勒库都克铜矿	花岗闪长岩	锆石 LA-ICP-MS U-Pb 法	326.8 ± 2.1	龙灵利等, 2010
	花岗闪长岩中包体	锆石 LA-ICP-MS U-Pb 法	329.3 ± 2.3	龙灵利等, 2010
	安山玢岩	锆石 LA-ICP-MS U-Pb 法	331.9 ± 2.1	龙灵利等, 2010
云英山-蒙西铜矿	斜长花岗斑岩	锆石 SHRIMP U-Pb 法	411.7 ± 7.1	王登红等, 2009
	辉钼矿	Re-Os 法	411.6 ± 3.2	屈迅等, 2009
铜华岭铜矿	闪长玢岩	锆石 LA-ICP-MS U-Pb 法	427.4 ± 3.2	郭丽爽等, 2009
	英云闪长岩	锆石 LA-ICP-MS U-Pb 法	422.8 ± 3.2	郭丽爽等, 2009
	二长花岗岩	锆石 LA-ICP-MS U-Pb 法	418.5 ± 2.6	郭丽爽等, 2009

Os 等时线年龄为(411.6 ± 3.2) Ma(屈迅等, 2009), 表明斜长花岗斑岩与辉钼矿时代一致, 是形成矿化的斑岩, 但闪长玢岩和二长花岗斑岩目前还缺乏年代学资料。

准噶尔北缘卡拉先格尔斑岩成矿带的哈腊苏矿区花岗闪长斑岩锆石 U-Pb 年龄为(381.0 ± 6) Ma 和(375.2 ± 8.7) Ma(Zhang et al., 2006; 吴淦国等, 2008), 辉钼矿等时线年龄为(378.3 ± 5.6) Ma 和(376.9 ± 2.2) Ma(吴淦国等, 2008; 杨富全等, 2010), 花岗闪长斑岩年龄与辉钼矿年龄在误差范围内一致, 表明花岗闪长斑岩为成矿斑岩。哈腊苏矿区含铜蚀变石英闪长斑岩年龄为 215.8 Ma(薛春纪等, 2010), 含黄铜矿钾长石 Ar-Ar 坪年龄为 230 Ma(闫升好等, 2006), 这一期矿化叠加在早期矿化上。

喀拉萨依二长闪长斑岩年龄为(376 ± 10) Ma(张招崇等, 2006^①); 卡拉先格尔 II 和 III 号矿区含矿斑岩年龄为(390.0 ± 4.9) Ma 和(393.3 ± 9.8) Ma(相鹏等, 2009)。玉勒肯哈腊苏含矿花岗斑岩年龄为 381.6 Ma(赵战锋等, 2009), 辉钼矿 Re-Os 等时线年龄为 374 Ma(杨富全未刊资料), 钼矿化年龄略晚于花岗斑岩, 表明花岗斑岩与铜钼矿化有关。矿区含铜蚀变石英二长斑岩年龄为 265.6 Ma(赵战锋等, 2009), 该岩体中含黄铜矿钾长石 Ar-Ar 年龄为 269 Ma 和 198 Ma, 薛春纪等(2010)认为这两期成矿是叠加在中泥盆世成矿作用上。由此可见, 卡拉先格尔一带成岩成矿主时代为中泥盆世, 叠加成矿时代为早二叠世和晚三叠世。

准噶尔北缘希勒库都克矿区花岗闪长岩、花岗

① 张招崇, 闫升好, 陈柏林, 周刚, 何立新, 柴凤梅, 张作衡. 2006. 阿尔泰铜矿带东段找矿靶区优选及评价. 国家科技攻关 305 项目(2001BA609A-07) 研究报告. 1-386.

闪长岩中包体、安山玢岩年龄分别为 326.8 Ma、329.3 Ma 和 331.9 Ma(龙灵利等, 2010), 含矿斑岩为花岗闪长岩的演化产物, 铜钼金矿化受含矿斑岩控制, 因此, 推断成矿时代为 332~327 Ma, 成矿时代为早石炭世。

西准噶尔包古图铜矿区 II 号岩体石英闪长斑岩年龄为 314.9 Ma、III 号岩体闪长玢岩年龄为 313.9 Ma(唐功建等, 2009); V 号岩体石英闪长斑岩年龄为 309.9 Ma(唐功建等, 2009), 花岗闪长岩年龄为 311 Ma(Liu et al., 2009), 辉钼矿 Re-Os 模式年龄为 310 Ma(宋会侠等, 2007b), 成矿晚期黑云母 K-Ar 年龄为 297.3 Ma 和 296.0 Ma(Liu et al., 2009), 成矿作用发生在晚石炭世。年代学资料显示石英闪长斑岩、花岗闪长岩与辉钼矿时代一致, 表明它们是成矿岩体。

依据目前新疆准噶尔周边地区斑岩铜矿年代学资料, 可将成岩成矿时代分为 4 期(图 4): ① 晚志留世—早泥盆世初(427~411 Ma), 主要分布在东准噶尔琼河坝地区; ② 中泥盆世(378~374 Ma), 主要分布在准噶尔北缘的卡拉先格尔一带; ③ 石炭纪(332~296 Ma), 主要分布在准噶尔北缘的希勒库都克和西准噶尔的包古图一带; ④ 二叠纪—三叠纪叠加成矿期(269~266 Ma, 230~200 Ma), 主要见于哈腊苏和玉勒肯哈腊苏铜矿, 叠加在中泥盆世成矿作用中。

中亚斑岩成矿带东段蒙古欧玉陶勒盖铜金矿早期成矿时代为 411 Ma(Perello et al., 2001), 西南欧玉矿床、中部欧玉矿床和南雨果矿床的辉钼矿 Re-Os 年龄为 370~373 Ma(Kirwin et al., 2005)。西段巴尔喀什一带斑岩成矿时代在 330~320 Ma, 如阿克斗

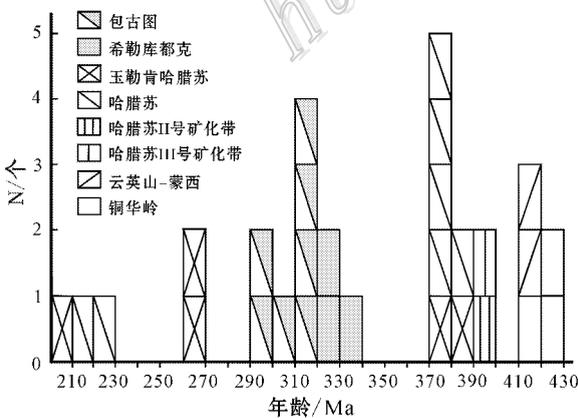


图 4 新疆准噶尔斑岩铜矿床成岩成矿时代直方图

Fig. 4 Histogram of geochronological data for porphyry copper deposits in Junggar, Xinjiang

卡矿床成矿时代为 320 Ma 左右, 科翁腊德铜矿成矿时代为 330 Ma(Seltmann et al., 2005)。蒙西铜钼矿、哈腊苏和玉勒肯哈腊苏铜矿成矿时代与蒙古欧玉陶勒盖铜金矿相似, 包古图铜矿与巴尔喀什一带斑岩铜矿成矿时代接近。新疆准噶尔从东向西, 斑岩铜矿成岩成矿时代有逐渐变新的趋势, 从 427~418 Ma(铜华岭铜矿)→411 Ma(蒙西铜钼矿)→378~374 Ma(哈腊苏铜矿和玉勒肯哈腊苏铜矿)→332~327 Ma(希勒库都克钼铜矿)→310~296 Ma(包古图铜矿)。境外的准噶尔东西两段均发现了许多大型、超大型矿床, 因此, 处于中段过渡带的准噶尔是否也有形成大型、超大型矿床的潜力, 值得进一步研究。

5 成矿流体特征及成矿物质来源

新疆准噶尔斑岩铜矿流体包裹体均一温度范围变化较大(表 3), 从高温一直延续到低温(120~530℃), 并具有多个峰值, 但主要成矿区间在中温阶段(180~300℃)。哈腊苏和玉勒肯哈腊苏矿床出现了明显的低温区间, 可能反映了大气降水的加入。流体盐度变化较大, 中低盐度 $w(\text{NaCl}_{\text{eq}})$ 变化于 0.5%~21.75%, 峰值在 6%~10%, 高盐度 $w(\text{NaCl}_{\text{eq}})$ 变化于 28.9%~66.76%。

包古图铜矿主要成矿阶段石英的 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 变化于 4.4‰~9.3‰, δD 介于 -107‰~-86‰(表 3)(张志欣等, 2010), 在 $\delta\text{D}-\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 图解中, 样品点落在岩浆水下方(图 5)。云英山铜矿主成矿阶段石英的 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 变化于 4.3‰~5.8‰, δD 介于 -87‰~-76‰(陈仁义等, 2005), 在 $\delta\text{D}-\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 图解中, 落在岩浆水中及附近。哈腊苏铜矿主成矿阶段石英和方解石 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 变化于 -5.81‰~4.83‰, δD 介于 -129‰~-80‰(杨富全等, 2010); 玉勒肯哈腊苏铜矿主成矿阶段石英 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 变化于 1.29‰~7.74‰, δD 介于 -120‰~101‰, 在 $\delta\text{D}-\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 图解中, 两个矿床样品点落在岩浆水左下方, 明显向大气降水线方向偏移。总之, 包古图和云英山矿床成矿流体主要为岩浆水, 哈腊苏和玉勒肯哈腊苏矿床成矿流体为岩浆水混合大气降水。

包古图斑岩铜矿床 23 件硫化物的 $\delta^{34}\text{S}$ 值变化范围较小, 介于 -5.1‰~0.7‰, 峰值为 -1.5‰, 接近于 0‰(宋会侠等, 2007b; 张志欣等, 2010), 成矿物

表 3 新疆准噶尔斑岩铜矿显微测温和稳定同位素
Table 3 Microthermometric and stable isotope data of porphyry copper deposits in Junggar, Xinjiang

矿床名称	$t_h/^\circ\text{C}$	$\alpha(\text{NaCl}_{\text{eq}})\%$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}/\text{‰}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{‰}$	$\delta\text{D}/\text{‰}$	来源
包古图	集中在 185~235, 265~355	0.5~20.2, 28.9~38.9, 峰值为 6	11.3~16.2	4.4~9.3	-107~-86	宋会侠等 2007b; 张志欣等 2010
哈腊苏	120~431, 峰值在 390、290 和 190	0.53~21.75, 43.06~66.76, 峰值在 19.5、12.5、9.5 和 1.5	2.9~12.3	-5.81~4.83	-129~-80	闫升好等 2006; 杨富全等 2010
玉勒肯哈腊苏	集中在 140~420, 峰值 270 和 170	3.06~14.97, 峰值为 6.5	11.2~13.2	1.29~7.74	-120~-101	杨富全未刊资料
希勒库都克	钼成矿温度 280~530, 铜成矿温度 180~300	2.07~20.89, 31.39~63.91				王莉娟等 2009
云英山	240~420, 峰值 380 和 290	1.2~12.2, 峰值 6		4.3~5.8	-87~-76	陈仁义等 2005

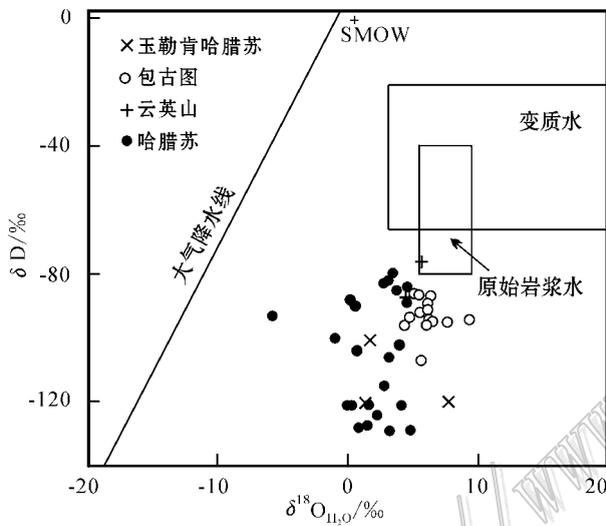


图 5 准噶尔斑岩铜矿床 $\delta\text{D}-\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 图解
(原始岩浆水范围据 Sheppard, 1986)

Fig. 5 δD versus $\delta\text{D}-\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ diagram of porphyry copper deposits in Junggar (data of primary magmatic water after Sheppard, 1986)

质来源于深部岩浆或地幔(幔源硫为 $0 \pm 3\text{‰}$, Hoefs, 1997)。哈腊苏斑岩铜矿 27 件硫化物 $\delta^{34}\text{S}$ 变化于 $-6.5\text{‰} \sim -1.6\text{‰}$, 峰值为 -3.5‰ , 表明硫来自火山岩地层(闫升好等, 2006)。玉勒肯哈腊苏铜矿硫化物 $\delta^{34}\text{S}$ 值变化范围较小, 介于 $-4.5\text{‰} \sim -0.1\text{‰}$, 峰值为 -3‰ (杨富全未刊资料), 与哈腊苏铜矿一致。总之, 新疆准噶尔斑岩铜矿与哈萨克斯坦巴尔喀什斑岩铜矿带硫同位素组成相似($\delta^{34}\text{S}$ 峰值为 -2.5‰ 和 -4.5‰ , Kolesnikov, 1991; 李光明等, 2008) 均集中于零值附近, 指示成矿物质来源于深部岩浆。

6 准噶尔斑岩矿床成矿作用

准噶尔周边地区斑岩铜矿的形成是哈萨克斯坦-准噶尔板块与西伯利亚板块、塔里木板块相互作用的产物, 其大地构造演化及成矿过程简述如下:

早古生代寒武纪—奥陶纪时古亚洲洋分别向北侧的西伯利亚板块与南侧的哈萨克斯坦-准噶尔板块俯冲, 在西伯利亚板块南缘形成阿尔泰山缘岩浆岛弧(Sengor et al., 1993; 牛贺才等 2006; Windley et al., 2002; Xiao et al., 2004), 在准噶尔板块北缘形成谢米斯台-北塔山-琼河坝岩浆岛弧与卡拉麦里-达拉布特-克拉玛依-唐巴勒弧后洋盆(董连慧等, 2009)。琼河坝一带在晚志留世—早泥盆世初(427~411 Ma)有斜长花岗斑岩、闪长玢岩和二长花岗斑岩等侵入, 伴随斑岩体的侵入, 在岩体及围岩中形成钾化带、泥化带和青磐岩化带, 并伴有铜钼矿化, 其成矿物质主要来自岩浆, 成矿流体主要来自岩浆水。典型矿床有云英山-蒙西铜钼矿、铜华岭铜钼矿和尔赛铜矿等。

自泥盆纪开始, 准噶尔洋往北继续俯冲于西伯利亚板块之下, 并在早古生代阿尔泰山缘岩浆岛弧基础上叠加形成晚古生代弧盆体系, 即阿尔泰山缘晚古生代岛弧与阿尔泰山缘晚古生代弧后盆地(董连慧等 2009)。中泥盆世准噶尔洋俯冲到阿尔泰山微陆块南部边缘之下, 在准噶尔北缘形成大洋岛弧, 俯冲带亏损地幔的熔融形成中基性岩浆, 伴随火山喷发形成巨厚的中基性火山岩(Zhang et al., 2006)。随后, 俯冲的大洋板块发生熔融形成类似埃达克质的石英闪长斑岩-花岗闪长斑岩(381~375 Ma)。随

着岩浆的上侵,形成广泛分布的钾长石化和黑云母化,同时,由于成矿流体具有高的氧逸度,形成磁铁矿。随着深部岩浆水和大气降水混合,由于温度压力降低、水岩交换反应和循环大气降水的混入,导致了含矿流体中 $\text{CO}_2\text{-CH}_4$ 和 $\text{H}_2\text{O-NaCl}$ 产生不混溶作用,即沸腾作用,引起了含矿热液中铜络合物分解。伴随钾化和硅化发生大量铜、钼沉淀富集,形成浸染状和细脉浸染状黄铜矿、黄铁矿和辉钼矿,构成低品位矿体,其成矿时代在378~374 Ma,为中泥盆世晚期。该期形成的矿床有哈腊苏、玉勒肯哈腊苏、哈腊苏Ⅱ号矿化带、哈腊苏Ⅲ号矿化带等。

石炭纪哈萨克斯坦-准噶尔板块北侧的古亚洲洋开始闭合,哈萨克斯坦-准噶尔板块与西伯利亚板块发生碰撞。早石炭世中期准噶尔北缘进入后碰撞阶段早期,在希勒库都克-索尔库都克一带发育大面积的花岗闪长岩(332~327 Ma)。随后,英安斑岩、流纹斑岩、石英闪长玢岩等岩脉侵入,围绕岩脉形成钾长石化等蚀变。铜矿化主要与绿泥石化、绿帘石化有关,而钼矿化主要与硅化、钾长石化、绢云母化、碳酸盐化有关。高温高盐度流体与铜成矿密切相关,含 CO_2 流体与钼矿化有关,中-低温中盐度流体与晚期铜钼矿床有关(王莉娟等,2008)。典型矿床为希勒库都克斑岩型铜钼矿和索尔库都克矽卡岩型铜钼矿。

石炭纪时,西准噶尔的达拉布特-克拉玛依-唐巴勒残留洋盆仍然存在,并处于从弧后盆地向岛弧转化的过渡岛弧阶段(沈远超等,1993)。在达拉布特岛弧带叠加发育与俯冲作用有关具有埃达克特征的中性岩浆侵入活动。伴随晚石炭世(315~310 Ma)包古图一带似斑状闪长岩、花岗闪长(斑)岩、似斑状石英闪长岩侵入,残余岩浆中挥发分变得饱和,导致斑岩外壳和围岩发生微细网脉状破裂和隐爆角砾岩的形成。早期岩浆结晶作用释放出的超盐度流体(Hedenquist et al., 1998)在岩体中形成黑云母化、钾长石化,并伴有早期面状分布的浸染状矿化。晚期含矿流体(即硫化物-石英阶段)于310~300 Ma上升到处于开放系统的角砾岩带、裂隙带,由于减压沸腾,引起含矿热液中金属络合物平衡的破坏。在形成绢英岩化的同时,含铜、钼、金等金属阳离子与S结合,形成硫化物石英细脉和网脉,叠加在早期浸染状矿化之上。在成矿最晚期,局部发育含黄铜矿、黄铁矿石英碳酸盐细脉、柱沸石碳酸盐细脉,这一期为成矿的末期,矿化很弱,不具有工业意义。

早二叠世处于哈萨克斯坦-准噶尔板块与阿尔泰微陆块碰撞造山晚期,在玉勒肯哈腊苏矿区有石英二长斑岩侵入(266 Ma),并伴有铜矿化(钾长石 Ar-Ar 年龄为 269 Ma),这种陆-陆碰撞晚期斑岩矿化蚀变叠加到中泥盆世洋-陆俯冲期的斑岩型矿化上(薛春纪等,2010)。同时,在喀拉通克一带形成镁铁-超镁铁岩和铜镍矿化(Mao et al., 2008)。

晚三叠世新疆北部为陆内构造演化阶段,卡拉先格尔一带哈腊苏和玉勒肯哈腊苏矿区仍有岩浆、构造、热液和矿化活动,如哈腊苏含矿钾长石 Ar-Ar 年龄为 230 Ma,含铜蚀变石英闪长斑岩年龄为 216 Ma,玉勒肯哈腊苏矿区钾长石 Ar-Ar 年龄为 198~206 Ma。晚三叠世的铜矿化与区域断裂构造和岩浆活动有关,叠加于中泥盆世斑岩型矿化之上。

7 结 论

(1) 新疆准噶尔斑岩铜矿主要分布在西准噶尔、准噶尔北缘和东准噶尔,与成矿有关的斑岩主要为中性、中酸性岩和酸性岩。斑岩铜矿形成的构造环境有大陆岛弧、大洋岛弧和后碰撞环境。

(2) 可划分出4个成矿带,即晚志留世—早泥盆世琼河坝地区斑岩铜钼矿带、中泥盆世卡拉先格斑岩铜矿带、早石炭世希勒库都克-索尔库都克斑岩-矽卡岩铜钼矿带和晚石炭世包古图斑岩铜矿带。

(3) 成岩成矿时代分为4期,即晚志留世—早泥盆世初(427~411 Ma)、中泥盆世(378~374 Ma)、石炭纪(332~296 Ma)、二叠纪—三叠纪叠加成矿期(269~266 Ma, 230~200 Ma)。新疆准噶尔从东向西,斑岩铜矿成岩成矿时代有逐渐变新的趋势,即从427~418 Ma(铜华岭铜矿)→411 Ma(蒙西铜钼矿)→374~378 Ma(哈腊苏铜矿和玉勒肯哈腊苏铜矿)→332~327 Ma(希勒库都克钼铜矿)→310~296 Ma(包古图铜矿)。

(4) 新疆准噶尔斑岩铜矿的成矿温度从高温延续到低温,但主要成矿区间在中温阶段(180~300℃)。流体盐度 $w(\text{NaCl}_{\text{eq}})$ 变化于0.5%~21.75%和28.9%~66.76%。包古图和云英山矿床成矿流体主要为岩浆水,哈腊苏和玉勒肯哈腊苏矿床成矿流体为岩浆水混合大气降水。 $\delta^{34}\text{S}$ 值集中于零值附近,指示成矿物质来源于地幔或与地幔有关的岩浆。

References

- An F and Zhu Y F. 2009. SHRIMP U-Pb zircon ages of tuff in Baogutu Formation and their geological significances [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 25(6): 1437-1445 (in Chinese with English abstract).
- Chen B and 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]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 23: 691-703.
- Chen R Y, Liu H G and Ma W Y. 1995. Geological characteristics and genetic mechanism of Cu-Au mineralization in Qionghaba, Xinjiang [J]. *Geology and Prospecting*, 31(1): 26-31 (in Chinese with English abstract).
- Dong L H, Xu X W, Qu X and Li G M. 2009. Tectonic setting and formation mechanism of the circum-Junggar porphyritic copper deposit belts [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 25(4): 713-737 (in Chinese with English abstract).
- Guo L S, Liu Y L, Wang Z H, Song D, Xu F J and Su L. 2010. The zircon U-Pb LA-ICP-MS geochronology of volcanic rocks in Baogutu areas, western Junggar [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 26(2): 471-477 (in Chinese with English abstract).
- Guo L S, Zhang R, Liu Y L, Xu F J and Su L. 2009. Zircon U-Pb age of Tonghualing intermediate- acid intrusive rocks, eastern Junggar, Xinjiang [J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis*, 45(5): 819-824 (in Chinese with English abstract).
- Han B F, Ji J Q, Song B, Chen L H and Zhang L. 2006. Late Paleozoic vertical growth of continental crust around the Junggar Basin, Xinjiang, China (part I): Timing of postcollisional plutonism [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 22(5): 1077-1086 (in Chinese with English abstract).
- Han B F, Ji J Q, Song B, Chen L H and Li Z H. 2004. SHRIMP zircon U-Pb ages of Kalatongke No. 1 and Huangshandong Cu-Ni-bearing mafic-ultramafic complexes, North Xinjiang, and geological implications [J]. *Chinese Science Bulletin*, 49: 2424-2429.
- He G Q, Cheng S D, Xu X, Li J Y and Hao J. 2004. An introduction to the explanatory text of the map of tectonics of Xinjiang and its neighbouring areas [M]. Beijing: Geol. Pub. House. 1-65 (in Chinese with English abstract).
- Hedenquist J W and Richard J P. 1998. The influence of geochemical techniques on the development of genetic models for porphyry copper deposits [J]. *Reviews in Economic Geology*, 10: 235-256.
- Hoefs J. 1997. Stable isotope geochemistry [M]. 3rd ed. Berlin: Springer Verlag. 1-250.
- Kirwin D J, Forster C N, Kavalieris I, Grane D, Orsich C, Panther C, Garamjav D, Munkhbat T O and Niislekhuu G. 2005. The Oyu Tolgoi copper-gold deposit, South Gobi, Mongolia [A]. In: Seltmann R, Gerel O, Kirwin D J, eds. *Geodynamics and metallogeny of Mongolia with A Special Emphasis on copper and gold deposits. IAGOD Guidebook Series 11* [C]. London. 155-174.
- Kolesnikov V V. 1991. Nonferrous metals deposits. Series: The Balkhash segment [M]. Alma-Ata: Gylym, 192 (in Russian).
- Li G M, Qin K Z and Li J X. 2008. Geological features and tectonic setting of porphyry copper deposits rounding the Balkhash region, Central Kazakhstan, Central Asia [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 24(12): 2679-2700 (in Chinese with English abstract).
- Liu Y L, Guo L S, Liu Y D, Song H X, Song B, Zhang R, Xu F J and Zhang Y X. 2009. Geochronology of Baogutu porphyry copper deposit in western Junggar area, Xinjiang of China [J]. *Science in China (Series D)*, 52(10): 1543-1549.
- Long L L, Wang Y W, Wang J B, Wang L J, Li Q L, Wang S L, Pu K X, Zhang H Q and Liao Z. 2010. Magma mixing in the Xilekuduke Cu-Mo ore district in Xinjiang: Evidence from zircon U-Pb chronology [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 26(2): 449-456 (in Chinese with English abstract).
- Mao J W, Pirajno F, Zhang Z H, Chai F M, Wu H, Chen S P, Cheng L S, Yang J M and Zhang C Q. 2008. A review of the Cu-Ni sulphide deposits in the Chinese Tianshan and alтай orogens (Xinjiang Autonomous Region, NW China): Principal characteristics and ore-forming processes [J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 32: 184-203.
- Niu H C, Yu X J, Xu J F, Shan Q, Chen F R, Zhang H X and Zheng Z P. 2006. Late Paleozoic volcanism and associated metallogenesis in the Altay area, Xinjiang, China [M]. Beijing: Geol. Pub. House. 1-184 (in Chinese with English abstract).
- Perello J, Cox D, Garamjav D, Sanjdorj S, Diakov S and Schissel D. 2001. Oyu Tolgoi, Mongolia: Siluro-Devonian porphyry Cu-Au (Mo) and high-sulfidation Cu mineralization with a Cretaceous chalcocite blanket [J]. *Econ. Geol.*, 96: 1407-1428.
- Qu X, Xu X W, Liang G L, Qu W J, Du S J, Jiang N, Wu H P, Zhang Y, Xiao H and Dong L H. 2009. Geological and geochemical characteristics of the Mengxi Cu-Mo deposit and its constrain to tectonic setting of the Qionghaba magmatic arc in eastern Junggar, Xinjiang [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 25(4): 765-776 (in Chinese with English abstract).
- Rui Z Y, Huang C K, Qi G M, et al. 1984. Porphyry copper (molybdenum) deposits of China [M]. Beijing: Geol. Pub. House. 1-350 (in Chinese).
- Seltmann R and Porter T M. 2005. The porphyry Cu-Au/Mo deposits of central Eurasia: 1. Tectonic, geologic & metallogenic setting and significant deposits [A]. In: Porter T M, ed. *Super porphyry copper & gold deposits: A global perspective* [C]. Adelaide: PGC Publishing. 2: 467-512.
- Sengör A M C, Natal'in B A and Burtman V S. 1993. Evolution of the Altaid tectonic collage and Palaeozoic crustal growth in Eurasia [J]. *Nature*, 364(22): 299-307.
- Shen P, Shen Y C, Liu T B, Zhang R, Wang J B, Zhang Y X, Meng L, Wang L J and Wang J. 2009. Host-rocks and alteration characters of the Baogutu porphyry copper-molybdenum deposit in Xinjiang, NW China [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 25(4): 777-792 (in Chinese with English abstract).
- Shen Y C and Jin C W. 1993. Magmatism and Gold Mineralization in

- Western Junggar[M]. Beijing : Science Press , 1-192(in Chinese with English abstract).
- Sheppard S M F. 1986. Characterization and isotopic variations in natural waters [J]. *Reviews in Mineralogy* , 16 :165-183.
- Song H X , Guo G L , Jiao X J and Liu Y L. 2007a. A preliminary study of the modes of occurrence of associated Au and Ag in the Baogutu porphyry copper deposit , Xinjiang Autonomous Region , China [J]. *Acta Petrologica et Mineralogica* , 26(4) : 329-334 (in Chinese with English abstract).
- Song H X , Liu Y L , Qu W J , Song B , Zhang R and Chen Y. 2007b. Geological characters of Baogutu porphyry copper deposit in Xinjiang , NW China [J]. *Acta Petrologica Sinica* , 23(8) : 1981-1988 (in Chinese with English abstract).
- Tang G J , Wang Q , Zhao Z H , Wyman D A , Chen H H , Jia X H and Jiang Z Q. 2009. Geochronology and geochemistry of the ore-bearing porphyries in the Baogutu area (western Junggar) : Petrogenesis and their implications for tectonics and Cu-Au mineralization [J]. *Earth Science* , 34(1) : 56-74 (in Chinese with English abstract).
- Wan B and Zhang L C. 2006. Geochemistry of ore-bearing porphyries in the Kalaxianger copper belt on the southeastern margin of the Altay Mountains , Xinjiang [J]. *Geology in China* , 33(3) : 618-625 (in Chinese with English abstract).
- Wang D H , Li H Q , Ying L J , Mei Y P and Chu Z L. 2009. Copper and gold metallogenic epoch and prospecting potential in Qionghaba area of Yiwu County , Xinjiang [J]. *Mineral Deposits* , 28(1) : 73-82 (in Chinese with English abstract).
- Wang L J , Wang J B , Wang Y W , Long L L , Wang S L and Pu K X. 2009. Geology and ore-forming fluids of Xilekuduke porphyry Cu-Mo deposits , North Junggar [J]. *Acta Petrologica Sinica* , 25(4) : 944-954 (in Chinese with English abstract).
- Wang X D , Liu D Q , Tang Y L and Zhou R H. 2006. Metallogenic characteristics and perspective of the porphyry copper in Qionghaba , Yiwu County [J]. *Xinjiang Geology* , 24(4) : 398-404 (in Chinese with English abstract).
- Wang Y W , Wang J B , Wang S L , Wang L J , Ding R F and Pu K X. 2008. Magma mixing in the Xilekuduke area , Fuyun county , Xinjiang and its mineralization significance [J]. *Acta Geologica Sinica* , 82(2) : 221-233 (in Chinese with English abstract).
- Wei F , Liu Y L , Guo G L , Zhang R , Zhang Y X and Wang J. 2009. Characteristics and genesis significance of Titanium minerals of Baogutu porphyry copper deposit , Xinjiang [J]. *Acta Petrologica Sinica* , 25(3) : 645-649 (in Chinese with English abstract).
- Windley B F , Kroener A , Guo J , Qu G , Li Y and Zhang C. 2002. Neoproterozoic to Paleozoic geology of the Altai Orogen , NW China : New zircon age data and tectonic evolution [J]. *Journal of Geology* , 110(6) : 719-737.
- Wu G G , Dong L H , Xue C J , Feng J , Tan H D , Zhang Z C , Wen C S , Zhou G , Gong Q J , Gao J G , Du Y S , He M Y , Liu J L and Tu Q J. 2008. The main porphyry copper ore belts in northern Xinjiang , China [M]. Beijing : Geol. Pub. House. 1-34 (in Chinese with English abstract).
- Xiang P , Zhang L C , Wu H Y , Zhang X J , Chen Z G and Wan B. 2009. Ages of the zircons from ore-bearing porphyries in II - III ore area of Kaxianger porphyry copper ore belt in Qinghe , Xinjing and its geological significance [J]. *Acta Petrologica Sinica* , 25(6) : 1474-1483 (in Chinese with English abstract).
- Xiao W J , Windley B F , Badarch G , Sun S , Li J , Qin K and Wang Z. 2004. Palaeozoic accretionary and convergent tectonics of the southern Altai : implications for the growth of Central Asia [J]. *Journal of the Geological Society* , 161 : 339-342.
- Xue C J , Zhao Z S , Wu G G , Dong L H , Feng J , Zhang Z C , Zhou G , Chai G X and Gao J G. 2010. The multiperiodic superimposed porphyry copper mineralization in Central Asian tectonic region : A case study of geology , geochemistry and chronology of Halasu copper deposit , southeastern Altai , China [J]. *Earth Science Frontier* , 17(2) : 53-82 (in Chinese with English abstract).
- Yang F Q , Mao J W and Yan S H. 2008. Ore-forming age and ore-formation of the Beilekuduke tin deposit in east Junggar , Xinjiang [J]. *Geological Review* , 54(5) : 626-641 (in Chinese with English abstract).
- Yang F Q , Yan S H , Qu W J , Zhou G , Liu F , Geng X X , Liu G R and Wang X. 2010. The fluid inclusions and C , H and O isotopic geochemistry of the I mineralized zone at the Halasu copper deposit , Xinjiang [J]. *Earth Science Frontier* , 17(2) : 359-374 (in Chinese with English abstract).
- Yan S H , Teng R , Zhang Z C , Chen B L , Chen W , Zhou G and He L X. 2006. New understanding on origin of Kalaxiangeer copper deposit on southern margin of Altai mountain , Xinjiang : Constraints from S-Pb-H-O isotope geochemistry and ⁴⁰Ar-³⁹Ar age of Halasu copper deposit [J]. *Mineral Deposits* , 25(3) : 292-301 (in Chinese with English abstract).
- Yang W P , Zhang Z C , Zhou G , Yan S H , He L X and Chen P L. 2005. Discovery of the Xileketehalasu porphyry copper deposit on the southern margin of the Altai copper metallogenic belt [J]. *Geology in China* , 32(1) : 107-114 (in Chinese with English abstract).
- Yuan F , Zhou T F , Tan L G , Fan Y , Yang W P , He L X and Yue S C. 2006. Isotopic ages of the I type granites in west Junggar Sawuer region [J]. *Acta Petrologica Sinica* , 22(5) : 1238-1248 (in Chinese with English abstract).
- Zhang L C , Wan B , Jiao X J and Zhang R. 2006. Characteristics and geological significance of adakitic rocks in copper-bearing porphyry in Baogutu , western Junggar [J]. *Geology in China* , 33(3) : 626-631 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Z C , Yan S H , Chen B L , Zhou G , He Y K , Chai F M , He L X and Wan Y S. 2006. SHRIMP zircon U-Pb dating for subduction-related granitic rocks in the northern part of east Junggar , Xinjiang [J]. *Chinese Science Bulletin* , 51(8) : 952-962.
- Zhang Z X , Yang F Q , Yan S H , Zhang R , Chai F M , Liu F and Geng X X. 2010. Sources of ore-forming fluids and materials of the Baogutu porphyry copper deposit in Xinjiang - Constraints from sulfur-hydrogen-oxygen isotopes geochemistry [J]. *Acta Petrologica*

Sinica, 26(3):707-716(in Chinese with English abstract).

Zhao Z F, Xun C J, Zhang L W, Wen C S, Zhou G and Liu G R. 2009. U-Pb dating of zircons from acid intrusions in Yulekenhalasu copper deposit of Qinghe, Xinjiang, and its geological significance[J]. Mineral Deposits, 28(4):425-433 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

安 芳 朱永峰. 2009. 新疆西准噶尔包古图组凝灰岩锆石 SHRIMP 年龄及其地质意义[J]. 岩石学报, 25(6):1437-1445.

陈仁义 刘海光 马文义. 1995. 新疆琼河坝铜金矿化地质特征及成因机理[J]. 地质与勘探, 31(1):26-31.

董连慧 徐兴旺 屈 迅 李光明. 2009. 初论环准噶尔斑岩铜矿带的地质构造背景与形成机制[J]. 岩石学报, 25(4):713-737.

郭丽爽 刘玉琳 王政华 宋 达 许发军 苏 犁. 2010. 西准噶尔包古图地区地层火山岩锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年代学研究[J]. 岩石学报, 26(2):471-477.

郭丽爽 张 锐 刘玉琳 许发军 苏 犁. 2009. 新疆东准噶尔铜华岭中酸性侵入体锆石 U-Pb 年代学研究[J]. 北京大学学报(自然科学版), 45(5):819-824.

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直生长(1)后碰撞岩浆活动的时限[J]. 岩石学报, 22(5):1077-1086.

何国琦 成守德 徐 新 李锦轶 郝 杰. 2004. 中国新疆及邻区大地构造图(1:2500000)说明书[M]. 北京:地质出版社. 1-65.

李光明 秦克章 李金祥. 2008. 哈萨克斯坦环巴尔喀什斑岩铜矿地质与成矿背景研究[J]. 岩石学报, 24(12):2679-2700.

龙灵利 王玉往 王京彬 王莉娟 李秋利 王书来 蒲克信 张会琼 廖震. 2010. 新疆希勒库都克铜钼矿区岩浆混合作用:来自锆石 U-Pb 年代学的证据[J]. 岩石学报, 26(2):449-456.

牛贺才 于学元 许继峰 单 强 陈繁荣 张海洋 郑作平. 2006. 中国新疆阿尔泰晚古生代火山作用及成矿[M]. 北京:地质出版社. 1-184.

屈 迅 徐兴旺 梁广林 屈文俊 杜世俊 姜 能 吴惠平 张 永 肖 鸿 董连慧. 2009. 蒙西斑岩型铜钼矿地质地球化学特征及其对东准噶尔琼河坝岩岛弧构造属性的制约[J]. 岩石学报, 25(4):765-776.

芮宗瑶 黄崇柯 齐国明 等. 1984. 中国斑岩铜(钼)矿床[M]. 北京:地质出版社. 1-350.

申 萍 沈远超 刘铁兵 张 锐 王京彬 张云孝 孟 磊 王丽娟 汪 疆. 2009. 新疆包古图斑岩型铜钼矿床容矿岩石及蚀变特征[J]. 岩石学报, 25(4):777-792.

沈远超 金成伟. 1993. 西准噶尔地区岩浆活动与金矿化作用[M]. 北京:科学出版社. 1-192.

宋会侠 郭国林 焦学军 刘玉琳. 2007a. 新疆包古图斑岩铜矿伴生元素和银赋存状态初步研究[J]. 岩石矿物学杂志, 26(4):329-334.

宋会侠 刘玉琳 屈文俊 宋 彪 张 锐 成 勇. 2007b. 新疆包古图斑岩铜矿矿床地质特征[J]. 岩石学报, 23(8):1981-1988.

唐功建 王 强 赵振华, Wyman D A 陈海红 贾小辉 姜子琦. 2009.

西准噶尔包古图成矿斑岩年代学与地球化学:岩石成因与构造、铜金成矿意义[J]. 地球科学, 34(1):56-74.

王登红 李华芹 应立娟 梅玉萍 初振利. 2009. 新疆伊吾琼河坝地区铜、金成矿时代及其找矿前景[J]. 矿床地质, 28(1):73-82.

王莉娟 王京彬 王玉往 龙灵利 王苏来 蒲克信. 2009. 准噶尔北部希勒库都克斑岩铜钼矿床地质与成矿流体[J]. 岩石学报, 25(4):944-954.

王晓地 刘德权 唐延龄 周汝洪. 2006. 伊吾县琼河坝地区斑岩铜矿床地质特征及远景评价[J]. 新疆地质, 24(4):398-404.

王玉往 王京彬 王书来 王莉娟 丁汝福 蒲克信. 2008. 新疆富蕴希力库都克地区岩浆混合作用及其成矿意义[J]. 地质学报, 82(2):221-233.

万 博 张连昌. 2006. 新疆阿尔泰东南缘卡拉先格尔铜矿带含矿斑岩地球化学及其意义[J]. 中国地质, 33(3):618-625.

魏 斐 刘玉琳 郭国林 张 锐 张云孝 汪 疆. 2009. 包古图斑岩铜矿床的钛矿物特征及其成因意义[J]. 岩石学报, 25(3):645-649.

吴淦国 董连慧 薛春纪 冯 京 谭捍东 张招崇 温长顺 周 刚 龚庆杰 高景岗 杜杨松 何明跃 刘俊来 涂其军. 2008. 新疆北部主要斑岩铜矿带[M]. 北京:地质出版社. 1-345.

相 鹏 张连昌 吴华英 张晓静 陈志广 万 博. 2009. 新疆青河卡拉先格尔铜矿带 II-III 矿区含矿斑岩锆石年龄及地质意义[J]. 岩石学报, 25(6):1474-1483.

薛春纪 赵战锋 吴淦国 董连慧 冯 京 张招崇 周 刚 池国祥 高景岗. 2010. 中亚构造域多期叠加斑岩铜矿化——以阿尔泰东南缘哈腊苏铜矿床地质、地球化学和成岩成矿时代研究为例[J]. 地学前缘, 17(2):53-82.

闫升好 滕 荣 张招崇 陈柏林 陈 文 周 刚 何立新. 2006. 新疆阿尔泰山南缘卡拉先格尔斑岩铜矿带成因再认识——来自哈腊苏铜矿硫-铅-氢-氧同位素和⁴⁰Ar-³⁹Ar 年龄的约束[J]. 矿床地质, 25(3):292-301.

杨富全 毛景文 闫升好. 2008. 新疆东准噶尔贝勒库都克铜矿床成矿时代及成矿作用[J]. 地质论评, 54(5):626-641.

杨富全 闫升好 屈文俊 周 刚 刘 锋 耿新霞 刘国仁 王 祥. 2010. 新疆哈腊苏铜矿床 I 号矿化带流体包裹体和碳氢氧同位素地球化学[J]. 地学前缘, 17(2):359-374.

杨文平 张招崇 周 刚 闫升好 何立新 陈柏林. 2005. 阿尔泰铜矿带南缘希勒库都克哈腊苏斑岩铜矿的发现及其意义[J]. 中国地质, 32(1):107-114.

袁 峰 周涛发 谭绿贵 范 裕 杨文平 何立新 岳书仓. 2006. 西准噶尔萨吾尔地区 I 型花岗岩同位素精确定年及其意义[J]. 岩石学报, 22(5):1238-1248.

张连昌 万 博 焦学军 张锐. 2006. 西准包古图含铜斑岩的埃达克岩特征及其地质意义[J]. 中国地质, 33(3):626-631.

张志欣 杨富全 闫升好 张 锐 柴凤梅 刘 锋 耿新霞. 2010. 新疆包古图斑岩铜矿床成矿流体及成矿物质来源——来自硫、氢和氧同位素证据[J]. 岩石学报, 26(3):707-716.

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酸性岩锆石 U-Pb 法定年及其地质意义[J]. 矿床地质, 28(4):425-433.