东准噶尔卡拉麦里地区金铜多金属成矿系统 和地球动力学

张栋¹⁾,路彦明¹⁾,葛良胜¹⁾,王治华^{1,2)},李波³⁾,范俊杰¹⁾,张玉杰¹⁾ 1)武警黄金地质研究所,河北廊坊,065000;2)中国地质大学,北京,100083; 3)河北省地质调查院,河北石家庄,050081

内容提要:卡拉麦里地区处于中亚一兴蒙成矿域东准噶尔成矿带的南段,晚古生代增生一碰撞过程明显、构造和岩浆活动强烈、矿产资源丰富。晚古生代增生一碰撞成矿作用集中在两个时期,卡拉麦里北缘至野马泉为主的泥盆纪和卡拉麦里构造带为主的早石炭世中晚期一二叠纪。本文在综合研究基础上,根据卡拉麦里地区晚古生代增生一碰撞过程的地球动力学和成矿特征,将成矿系统划分为:泥盆纪活动大陆边缘斑岩型金成矿系统,早石炭世中晚期后碰撞挤压一伸展转换阶段浅成低温热液一斑岩型金铜成矿系统,晚石炭世一二叠纪后碰撞伸展阶段造山型金铜成矿系统和岩浆热液型锡金成矿系统,以后3类为主。矿床组合包括:韧性剪切带型金矿、浅成低温热液型金矿、岩浆期后热液脉型金矿、斑岩型铜金矿、构造控制脉型铜矿和云英岩一石英脉型锡矿。认为该地区的泥盆纪活动大陆边缘成矿系统可能被晚石炭世一二叠纪后碰撞造山型金成矿系统所叠置而不易识别,后碰撞作用主导了该地区主要成矿系统,大陆岩石圈拆沉和软流圈地幔上涌产生的走滑伸展构造一壳幔岩浆作用一混合流体作用是卡拉麦里地区金属成矿作用的地球动力学机制。

关键词:金矿床;铜矿床;成矿系统;地球动力学;卡拉麦里;东准噶尔

东准噶尔位于新疆北部准噶尔盆地东北缘,是 古生代中亚—兴蒙成矿域的重要组成部分,也是新 疆北部主要的金铜多金属成矿带之一。卡拉麦里地 区位于东准噶尔成矿带的南段,晚古生代是重要的 增生—碰撞时期,发育由北至南逆冲推覆作用,兼具 右行走滑的韧—脆性剪切带构造体系,和富碱中酸 性岩浆活动,形成了金铜锡多金属成矿系统。近10 年来,武警黄金部队在该区开展了金铜矿地质勘查 工作,取得了较大地找矿进展,相继发现了双泉—金 水泉金矿田和松喀尔苏、清水泉等铜矿床(点),拓 展了该区金铜找矿潜力。

卡拉麦里地区是以金为主的成矿带。前人对该 地区板块构造与金成矿关系(高怀忠等,2000a)、构 造体系与演化(李锦轶等,2009;吴润江等,2009;赵 磊等,2012)、金矿床类型(杨富全等,2000;彭晓明 等,2004;路彦明等,2010a;徐斌,2010b)、构造控制 (路彦明等,2007;张玉杰等,2013)、成矿流体与物 质来源(张以熔等,1992;高怀忠等,2000b;杨富全 等,2000;聂晓勇等,2009;张继武等,2009;路彦明 等,2010b;徐斌等,2010b)和成岩成矿时代(李华芹 等,2004;徐斌等,2009;路彦明等,2010c)等方面取 得了一系列新成果。对于该地区新发现的铜矿类型 及成因、构造控制和成岩成矿时代与环境等方面获 得了一些新认识(张栋等,2013,2014,2015;张峰等, 2014)。陈仁义(1993)、秦克章(2000)、喻亨祥等 (2000)、杨富全等(2005)、张连昌等(2006)、肖文交 等(2006)和董连慧等(2009)初步总结了区域成矿 特点和成矿地球动力学背景。本文基于前人的工作 基础,通过野外调查和对一些关键问题的综合研究, 初步探讨卡拉麦里地区金铜多金属成矿系统和成矿 地球动力学模型。

1 成矿地质背景

东准噶尔在构造上位于西伯利亚板块与哈萨克 斯坦一准噶尔板块的结合部位。卡拉麦里地区属于 准噶尔北缘古生代陆缘活动带内的泥盆纪一石炭纪

注:本文为中国地质调查局矿产资源评价项目(编号1212011085018)和武警黄金指挥部黄金专项业务费项目(编号HJY10-04)的成果。 收稿日期:2014-05-13;改回日期:2015-04-15。责任编辑:章雨旭。Doi: 10.16509/j.georeview.2015.04.023

作者简介:张栋,男,1979年生。高级工程师。从事矿床地质和构造地质研究。Email: zhangdong7989@163.com。通讯作者:路彦明,男, 1972年生。博士后。从事矿床学研究和管理工作。Email: yanming - lu - 163@163.com。

残余洋盆,南侧与准噶尔中央地块毗邻(何国琦等, 2004)(图1)。区域地质演化经历早古生代古陆的 裂解和有限洋盆形成、晚古生代早期(D)俯冲、晚古 生代中期(C₁)主碰撞造山(包括残余洋盆)、晚古生 代中一晚期(C1-2)挤压向伸展转换、晚古生代晚期 (C₂—P)碰撞后伸展和中生代陆内等阶段(李锦轶 等,1990;肖序常等,1992;陈衍景,1996)。

卡拉麦里韧一脆性剪切构造带由卡拉麦里地区 南北两侧发育的卡拉麦里和清水—苏吉泉深大断裂 所围限的区域组成,线性构造特征醒目,呈北西走向 展布。由泥盆纪一早石炭世弧前沉积岩系、早石炭 世洋底硅泥质沉积岩块、早石炭世晚期残余海盆沉 积岩系和蛇绿岩等组成(李锦轶,1995)。蛇绿岩呈 构造岩块以逆冲断层或不整合与其他地质体混杂堆 积。混杂堆积的基质由滨浅海相的中基性火山岩、 火山碎屑岩夹正常碎屑岩组成,发生了强烈的片理 化和绿片岩相变质。蛇绿岩形成于泥盆纪(李锦 铁,1995;舒良树等,2003;唐红峰等,2007a)。构造 带北侧发育大面积富碱花岗岩类,主要有黑云母花 岗岩、碱长花岗岩和碱性花岗岩等,呈岩基状沿清 水--苏吉泉断裂以北侵入于泥盆纪--早石炭世弧前 沉积岩系中,具多期侵入特征。典型富碱花岗岩类 成因上分属于铝质或碱性 A 型花岗岩, 锆石 LA-ICPMS U-Pb 年龄介于 313~283Ma(苏玉平等, 2006,2008;唐红峰等,2007b;李永军等,2009),属于 东准噶尔后碰撞深成岩浆活动范围 330~265 Ma(韩 宝福等,2006)。构造带南侧由早石炭世一二叠纪 的一套具磨拉石特征的粗碎屑岩和后碰撞陆相火山 岩组成(吴润江等,2009),以角度不整合发育于泥 盆纪被动陆缘之上(李锦轶,1995),出露最老地层 为志留系变质岩(李锦轶,2004)。陆相火山岩沿卡 拉麦里断裂带南麓呈带状分布,从双井子、巴塔玛依 内山和金山沟,向东延伸至巴里坤双峰山和伊吾北 山一带。火山岩以巴塔玛依内山组安山岩类为主, 次为玄武岩、流纹英安岩、流纹岩和火山碎屑岩,岩 石化学上属碱性较高的钾质火山岩及板内碱性玄武 岩,属于后碰撞环境(吴小奇等,2009),据卡拉麦里 地区粗面安山岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄 350Ma、玄 武安山岩和流纹岩锆石 LA-ICPMS U-Pb 年龄范围 为323~306Ma,反映其形成于石炭纪(谭佳奕等,



798

图1东准噶尔卡拉麦里地区地质背景与主要矿床略图

(据李锦轶等,1990;新疆305项目[●];何国琦等,2004修改)

Fig. 1 Geological diagram of metallogenic background and major deposits in the Karamaili areas

(modified after Li jinyi et al. ,1990; "305" Project⁰; He Guoqi et al. ,2004)

(a) A—西伯利亚板块;B—哈萨克斯坦—准噶尔板块;B1—准噶尔北缘古生代陆缘活动带;B2—准噶尔古陆;B1-1—库兰喀孜干泥盆纪 陆缘火山岩带;B1-2—卡拉麦里泥盆纪—石炭纪残余洋盆;B2-1—巴塔玛依内山石炭纪上叠火山—沉积盆地;C—塔里木—中朝板块; EBT—额尔齐斯—布尔根板块缝合带;MHT—木扎尔特—红柳河板块缝合带

(b)Q一第四系松散沉积;P--Cz--二叠系--新生代盆地沉积物;D^{fa}--泥盆纪弧前盆地火山一沉积岩系;D^a--泥盆纪火山弧火山岩;D^{ba}--泥盆纪弧后盆地沉积岩系;D^{pem}--准噶尔古陆北缘泥盆纪被动陆缘沉积物;C^{ro}--石炭纪残余洋盆沉积岩系;S--志留纪变质岩;C^{pe}--后碰 撞火山岩;C^{em}--北天山晚古生代活动大陆边缘沉积物;γκCP--后碰撞碱性花岗岩;γδC--后碰撞花岗闪长岩;γδE. Pz--早古生代花岗闪 长岩;矿床点:1-清水金矿床;2-金水泉金矿床;3-大沙沟金矿点;4--黄羊山西金矿点;5--双泉金矿床;6--黄南金矿点;7--红柳沟金矿 点;8--苏吉泉金矿床;9--南明水金矿床;10--苏吉泉东金矿床;11--东黑山金矿点;12--柳树泉金矿床;13--金山沟金矿床;14--双峰山金 矿床;15--野马泉金矿床;16--库布苏金矿床;17--卡姆斯特锡矿床;18--贝勒库都克锡矿床;19--萨北锡矿床;20--清水泉铜矿点;21--松喀尔苏铜金矿床。主要断裂;Fk--卡拉麦里断裂;Fq--清水-苏吉泉断裂

(a) A—Siberian Plate; B—Kazakhstanian—Junggar Plate; B1—Northern Junggar Paleozoic volcanic rock belt of continental margin; B2—Junggar oldland; B1 – 1—Kulankazgan Devonian volcanic rock belt of continental magin; B1 – 2—Karamaili Devonian—Carboniferous remnant ocean; B2 – 1—Batamayineishan Carboniferous superposed volcano—sedimentary basin; C—Tarim—China and Korea Plate; EBT—Ertysh—Bugun plate suture belt; MHT—Muzart—Hongliuhe plate suture belt

 $(b) Q--Quaternary loose sediment; P--Cz--Permian--Cenozoic basin sediment; D^{fa}--Devonian volcanic sedimentary rock of forearc basin; D^{a}--Devonian volcanic rock of volcanic arc; D^{ba}--Devonian sedimentary rock of back-arc basin; D^{pcm}--Devonian passive continental margin sediment of Northern margin Junggar; C^{ro}--Carboniferous sedimentary rock of remnant ocean; S--Silurian metamorphic rock; C^{pe}--post-collision volcanic rock; C^{acm}--Active continental margin sediment of Northern Tianshan; <math>\gamma \kappa CP$ --Post-collision Alkali granite; $\gamma \delta C$ --Post-collision Granodiorite; $\gamma \delta E$. Pz--Early Pz. Granodiorite; Major ore deposits (occurrences): 1--Qingshui gold deposit; 2--Jinshuiquan gold deposit; 3--Dashagou gold occurrence; 4--Huangyangshanxi gold occurrence; 5--Shuangquan gold deposit; 6--Huangnan gold occurrence; 7--Hongliugou gold occurrence; 8--Sujiquan gold deposit; 9--Nanmingshui gold deposit; 10--Sujiquandong gold deposit; 11--Dongheishan gold occurrence; 12--Liushuquan gold deposit; 13--Jinshangou gold deposit; 14--Shuangfengshan gold deposit; 15--Yemaquan gold deposit; 16--Kubusu gold deposit; 17--Kamusite tin deposit; 18--Beilekuduke tin deposit; 19--Sabei tin deposit; 20--Qinshuiquan copper occurrence; 21--Songkaersu copper deposit. Main faults: Fk--Karamaili fault; Fq--Qingshui-Sujiquan fault

2009; Xiao Yan et al., 2011; Su Yuping et al., 2012) .

2 金铜成矿系统

对于东准噶尔成矿带及卡拉麦里地区的金铜多 金属矿床类型,前人有不同的划分方案(陈仁义, 1993;杨富全等,2000;喻亨祥等,2000;路彦明等, 2010;徐斌等,2010a)。矿床成因类型主要有岩浆熔 离型铜镍硫化物矿床、砂卡岩型钼铜矿床、斑岩型铜 金(钼)矿床、剪切带型金矿床、浅成低温热液型金 矿床、云英岩型一石英脉型锡矿床和近年新发现的 岩浆期后热液脉型金矿点和受构造控制的脉型铜矿 点。

卡拉麦里地区金属成矿作用与石炭纪一二叠纪 碰撞作用密切相关,具体表现为卡拉麦里构造带北 侧与A型花岗岩(脉)有关的岩浆热液型锡(金)矿 床、构造带内与韧一脆性剪切带有关的造山型金铜 矿床和构造带南侧与陆相火山岩有关的浅成低温热 液型一斑岩型金铜矿床。矿床组合可分为造山型金 铜成矿系统、浅成低温热液一斑岩型金铜成矿系统 和岩浆热液型锡金成矿系统。这3类成矿系统在时 空和成因方面既有差别又有联系。

2.1 造山型金铜成矿系统

2.1.1 造山型金矿床

造山型金成矿系统位于卡拉麦里构造带中一西 段,受卡拉麦里韧一脆性剪切带和变质海相火山— 沉积岩系与蛇绿混杂岩块等赋矿围岩控制。构成双 泉一金水泉金矿田,包括双泉中型金矿床、金水泉中 型金矿床、苏吉泉东小型金矿床、南明水小型金矿 床、苏吉泉小型金矿床、清水小型金矿床和红柳沟、 柳树泉、大沙沟、黄南等金矿点。矿化类型有蚀变糜 棱岩型、构造蚀变岩型和石英脉型。

金矿床(点)空间分布受卡拉麦里韧一脆性剪 切带构造体系控制,产于剪切带内不同性质断裂与 不同容矿空间,包括压扭性主断裂、近压扭性主断裂 次级构造和外围张剪性断裂裂隙。具有地体拼接带 和超岩石圈断裂性质的卡拉麦里深断裂,控制着卡 拉麦里金矿带的展布,清水—苏吉泉大断裂和红柳 沟断裂为次级剪切带,控制着金矿床(点)空间分 布,剪切带内的韧一脆性扩容空间是矿体发育的有 利地带。控矿构造系统以韧脆性里德尔剪切裂隙系



图 2 卡拉麦里构造带中一西段造山型金矿控矿构造模式示意图(据张玉杰等,2013 修改)

Fig. 2 Ore-controlling structural model diagram of orogenic-type gold deposits in the Central-Western Karamaili tectonic belt

D—主剪切裂隙;R—同向低角度剪切裂隙;R′—反向高角度剪切裂隙;P—P 型剪切裂隙;T—张裂隙;

Fk—卡拉麦里断裂;Fq—清水—苏吉泉断裂;Fh—红柳沟断裂

D-Dominant shear fracture; R-Synthetic low-angle shear fracture; R'-Reversal high-angle shear fracture; P-P-style shear fracture; T-Tension fracture; Fk-Karamaili fault; Fq-Qingshui-Sujiquan fault; Fh-Hongliugou fault

统为主(路彦明等,2007;张玉杰等,2013)(图2)。

金矿体呈脉状产于压扭性断裂破碎带内或充填 在张剪性的石英脉中。延深一般小于 500m,延长介 于 10~300m 不等,矿体多具有尖灭再现与雁列式 排列特征。矿化垂向蚀变分带不明显,通常呈水平 为主的分带性,从主断裂带向旁侧的次级扩容构造 带再向外围的脆性构造域表现出以构造蚀变岩型为 主、兼有蚀变糜棱岩型和石英细脉型向构造蚀变岩 型夹石英细脉型,再向石英脉型转变的特点。

围岩蚀变表现出构造一蚀变分带性。蚀变糜棱 岩型和构造蚀变岩型金矿化,以变形金属硫化物 (黄铁矿和毒砂呈定向韧性流变)和富金石英脉带 为中心,依次分布硅化带、低品位绢云母一绿泥石化 带和低绿片岩相围岩。构造蚀变岩夹石英细脉型金 矿化,受低级别断裂或主断裂旁的韧一脆性扩容构 造带控制,矿化蚀变较弱,分带性不完整,表现出外 带低品位黄铁(毒砂)绢云母片岩带,内带富金石英 细脉带特点。石英脉型金矿化受脆性张剪性断裂裂 隙控制,围岩蚀变不发育。

蚀变岩型金矿化大致划分为3个阶段。早阶段

黄铁矿一黄铜矿一石英阶段,主阶段自然金一毒 砂一黄铁矿一石英阶段,晚阶段石英一方解石一黄 铁矿阶段。早阶段石英受韧性构造变形多定向发育 拉伸线理和剪切面理,石英颗粒具有波状消光和边 缘细粒化等现象;中阶段多金属硫化物组合充填胶 结石英脉角砾或石英脉的裂隙系统中;晚阶段石 英一碳酸盐脉多呈乳白色和自形程度高的特点。图 3显示了上述 3 阶段矿化特征和组构,它们佐证控 矿构造由挤压向伸展或韧性向脆性转化。

不同金矿床(点)含金石英中流体包裹体主要 为水溶液包裹体和含 CO_2 包裹体(图 3F),单个包裹 体拉曼探针分析液相成分以 H_2O 和 CO_2 为主、气相 成分以富含 CO_2 和高 CH_4 为特征,如双泉金矿田气 相 CH_4 含量变化范围为 29mol% ~ 85.4mol%、 CO_2 变化范围 5.4mol% ~ 97.0mol%(徐斌,2010b)。盐 度变化范围为 3.55% ~ 4.35%(NaCleq),均一温度 变化范围为 160°C ~ 380°C(张继武等,2009),整体 表现出中低温、低盐度富含 CO_2 的流体包裹体特征。 成矿流体氢、氧同位素组成以变质成因水为主(路 彦明等,2007;聂晓勇等,2009),包括少量大气降水 和岩浆水混合流体(杨富全等,2000),氦氩同位素 组成具有幔壳混源性质(张继武等,2009),显示部 分成矿流体来自深源。成矿物质来源有多物质混源 的特点。双泉金矿矿石 $\delta^{34}S_{v-CDT}$ 为3.8~10.7‰,属 于混染硫成因(张继武等,2009),南明水金矿矿石 $\delta^{34}S_{v-CDT}$ 为3.6‰,属于深源硫(张以熔等,1992)。 金矿石稀土元素地球化学显示成矿物质与围岩下石 炭统南明水组火山—沉积岩系有关,而与邻近的碱 性花岗岩基无物源联系(路彦明等,2007)。成矿流 体示踪研究表明,本区金成矿流体属于典型造山型 金成矿系统要素,成矿流体具有低盐度富含 CO₂的 变质流体特征,高 CO₂的流体可能以围岩变形变质 脱水作用产生的变质流体为主,但不排除深部地幔 流体和火山热液释放的流体参与成矿。

典型金矿床双泉和清水的成矿年代学数据(李 华芹等,2004;徐斌等,2009),包括金水泉金矿床主 矿脉绢云母快中子活化法40 Ar-39 Ar 等时线年龄为 270.9Ma(未发表数据),反映金成矿作用集中在 300~260Ma。联系区域资料,于学元等(1993)通过 对准噶尔盆地东北缘火山岩40 Ar-39 Ar 坪年龄谱图的 研究,认为该区在晚古生代发生过两次区域性地质 热事件,分别为293Ma和265Ma左右,代表了碰撞 造山挤压—伸展转换和碰撞后伸展作用。准噶尔造 山带金等矿床的成矿作用主要发生于碰撞造山作用 的挤压—伸展转变期 300~250Ma(陈衍景,1996)。 东准噶尔后碰撞深成岩浆活动成岩高峰期之一为 305~280Ma(韩宝福等,2006),新疆北部后碰撞成 矿高峰期为 300~285 Ma 和 270~260 Ma(王京彬 等,2006)。所述数据表明,区域上 300~260Ma 已 步入主碰撞后的挤压—伸展转换阶段和后碰撞伸展 阶段,卡拉麦里地区造山型金成矿系统是滞后于碰 撞造山峰期变质作用之后挤压向伸展或韧性向脆性 转换过程的产物。

2.1.2 造山型铜矿床

卡拉麦里构造带西段清水泉铜矿毗邻受韧一脆 性剪切带控制的金水泉金矿床和清水金矿床(图 1),初步研究表明其属于受构造控制的脉状铜矿。

清水泉铜矿的铜矿体赋存于下石炭统清水组安 山质火山岩内近 EW 走向的压扭性断裂附近。该断 裂为区域清水—苏吉泉韧—脆性剪切带南侧的次级 脆性断裂,浅部地表表现为氧化淋滤带和破碎带,切 割安山质围岩,控制斜长花岗斑岩脉侵位。目前发 现矿体4条,矿体呈雁列式排列的脉状体,其产状与 区域构造线方向一致(图4)。控制延长 480~ 1100m, 延深小于 400m, 矿脉平均厚度介于 3.20 ~ 5.10m, 平均品位介于 0.13% ~ 0.20%。赋矿岩石 以安山玢岩为主, 次为斜长花岗斑岩, 铜矿化在安山 玢岩中表现与石英脉共生的单脉状, 而在斜长花岗 斑岩中表现与面状硅化有关的金属硫化物细脉(图 5a,b)。围岩蚀变主要有硅化、绢云母化、绿泥石 化、绿帘石化和碳酸盐化等, 靠近矿体的安山玢岩具 有强烈的青磐岩化。金属矿物简单, 以黄铁矿和黄 铜矿为主, 地表发育金属氧化物孔雀石和褐铁矿。 矿石构造发育脉状、浸染状、气孔状和蜂窝状等。

根据野外观察, 矿化大致划分为3个阶段(图 5c、d): 早阶段乳白色石英一少量黄铁矿, 石英遭受 变形破碎, 常定向排列, 黄铁矿被挤压破碎; 中阶段 石英一多金属脉, 穿切早期石英脉, 硫化物脉幅明显 增宽, 没有显示构造变形; 晚阶段发育石英一碳酸盐 细脉, 常穿切早中阶段石英一硫化物脉和蚀变体。

造山型矿床主要是指产于变质地体中,受构造 和韧性剪切带控制,在时间和空间上与造山作用有 关的脉状矿床(陈衍景,2006)。清水泉铜矿地质特 征表明,成矿作用与断裂构造作用有关,形成受线性 构造控制的脉状铜矿体。但成矿物质来源可能复 杂,并且与早石炭世海相火山喷发物质和幔源浅成 岩脉交代富集有关。其推断如下:

(1) 赋矿围岩下石炭统清水组火山岩为海相裂 隙式中基性喷发和喷溢形成,属于卡拉麦里残余洋 盆晚期产物(新疆 305 项目组[●]),中基性潜火山岩 安山玢岩等铜含量在卡拉麦里构造带西段清水一带 最高(Cu平均含量为 326×10⁻⁶)(新疆地矿局区调 二队[●]),表明清水组安山玢岩可能是铜初始富集的 有利岩石。

(2)对成矿有关的斜长花岗斑岩稀土和微量元 素研究表明(武警黄金地质研究所[®])(图6),其与 Troodos 蛇绿岩套中大洋斜长花岗岩(Pearce et al., 1984)除 Eu 外一致,在 Eu 异常上与卡拉麦里地区 清水一带蛇绿岩中辉长岩有很好的互补性,这一差 异被解释为原始岩浆的结晶分异作用(形成具正 Eu 异常的堆晶辉长岩和负 Eu 异常的残留熔体)(唐红 峰等,2007)。在洋脊花岗岩(MORG)不相容元素蛛 网图上其与 Troodos 大洋斜长花岗岩接近,也与该区 清水蛇绿岩组分中浅色岩斜长花岗岩有相似性。根 据清水斜长花岗岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄 373Ma (唐红峰等,2007)计算得到的含矿斜长花岗斑岩 n(⁸⁷Sr)/n(⁸⁶Sr)_i值为 0.70420~0.70543、 $\varepsilon_{Nd}(t)$ 值 为+7.8~+9.0,Nd 同位素模式年龄 T_{2DM} 均值为 391Ma,且与清水斜长花岗岩结晶年龄 373Ma 较为 接近,可能暗示含矿斜长花岗斑岩与蛇绿岩组分中 的大洋斜长花岗岩具有亲缘关系,其岩浆直接起源 于亏损地幔。

(3)碰撞造山时期清水一苏吉泉韧一脆性剪切带及其次级脆性断裂控制了斜长花岗斑岩脉的侵位和控矿构造的形成,为成矿物质最终富集提供通道和场所。结合矿床地质特征表明,清水泉铜矿与造山型矿床的主要特征相似,时空上与本区控制金成

矿作用的韧一脆性剪切带密切相关,初步确定为受 构造控制的脉状铜矿床,归属造山型金铜成矿系统。

2.2 浅成低温热液—斑岩型金—铜 成矿系统

浅成低温热液一斑岩型金铜成矿系统位于卡拉 麦里构造带南侧的巴塔玛依内山石炭纪上叠火山一 沉积盆地,受石炭纪卡拉麦里陆相火山岩带控制。 主体由若干个浅成低温热液型金矿床组成浅成低温 热液型金矿带,其中典型金矿床有高硫化型金山沟



图 3 卡拉麦里构造带中一西段造山型金矿床典型岩石组构和包裹体照片

Fig. 3 Ore fabrics and fluid inclusions of orogenic-type gold deposit in the Central—Western Karamaili tectonic belt (a) 不同阶段石英产状,金水泉金矿床;(b) 角砾状石英被含金硫化物条带穿插,金水泉金矿床;(c) 穿切碎裂化石英脉的含金硫化物条 带,金水泉金矿床;(d) 糜棱岩的韧性面理,金水泉金矿床;(e) 早期韧性变形石英残斑被成矿期蚀变矿物—金属硫化物包围,金水泉金矿 床;(f) 石英中液相和含 CO_2 气相包裹体,金水泉金矿床

(a) Attitude of different stage quartz, Jinshuiquan gold deposit; (b) Breccia quartz transected by banded gold-bearing sulfide, Jinshuiquan gold deposit; (c) Banded gold-bearing sulfide penetrating crumpled quartz, Jinshuiquan gold deposit; (d) Ductile folia of mylonite, Jinshuiquan gold deposit; (e) early-stage ductile deformation porphyroid quartz included by main-stage alteration products and sulfides, Jinshuiquan gold deposit; (f) Liquid and CO_2 —gas inclusions of quartz, Jinshuiquan gold deposit



图 4 富蕴县清水泉铜矿 TC0 素描图

Fig. 4 Sketch digram of TC 0 in the Qinshuiquan copper deposit of the Fuyun county

金矿床和低硫化型双峰山金矿床(杨富全等, 2005)。巴塔玛依内山陆相火山机构中新发现松喀 尔苏斑岩型铜金矿床。

2.2.1 斑岩型铜金矿床

松喀尔苏铜金矿床是与陆相火山一侵入岩有关 的斑岩型铜金矿床(张栋等,2014)。铜金矿体受矿 区中部近 SN 向断层控制,产于花岗斑岩体西部及 西南部接触带。赋矿岩石主要为花岗斑岩,次为辉 长玢岩,少量泥质粉砂岩和玄武安山岩。地表矿体 呈大致平行或侧列分布,走向近南北,倾向西,倾角 30°~70°,呈透镜状及不规则状。共圈出11个不同 规模的盲矿体,产状基本同地表矿体,呈似板状。矿 体规模均较小,矿体长度介于20~100m,倾斜延伸 5.00~82.50m,厚度 0.50~8.86m。矿石品位较 低,Cu平均品位介于 0.16%~2.45%,伴生或独立 Au 矿体, Au 平均品位介于 0.12 × 10⁻⁶ ~ 3.39 × 10⁻⁶。独立 Au 矿体产在围岩巴塔玛依内山组安山 质火山岩中,受 SN 向断层平行的次级张剪性裂隙 带控制,矿体与围岩呈过渡关系,主要发育在接触带 铜金矿体的上部, Au 含量(或 Au/Cu 比值)有向深 部减弱趋势,独立 Au 矿体向深部尖灭较快。矿化 类型分为3种,分别为浸染状、细网脉状和(细)脉 状。矿化具有分带性,岩体浅部至地表主要是细网 脉状矿化,向深部(400m)为浸染状、细网脉状矿化, 在岩体外接触带主要为细脉状矿化。

矿床在构造上受巴塔玛依内山一带中心式陆相 火山机构控制,具体产于具有环状与放射状断裂的 破火山口构造控制的潜火山—浅成侵入杂岩体中 (张栋等,2015)。含矿斑岩体为复式岩体,早期侵 入的是中深成相似斑状花岗闪长岩,稍晚侵入的是 浅成相花岗斑岩,两者之间过渡为中浅成相花岗细 晶岩。在花岗斑岩侵入之后,有少量辉长玢岩、辉长 闪长岩和石英霏细斑岩等中基性和酸性岩脉侵入于 花岗斑岩和围岩中。该复式岩体侵入中泥盆统卡拉 麦里组沉积岩和石炭系巴塔玛依内山组安山质火山 岩中。岩浆系统研究表明(张栋等,2014),成矿作 用在时间、空间和成因上与复式岩体晚期浅成相花 岗斑岩相关。花岗斑岩具有富水、富挥发性和岩浆 爆破作用的氧化性岩浆特点,具有后碰撞钙碱性花 岗岩类地球化学亲缘性,其岩浆起源于挤压一伸展 转换期的壳一幔岩浆过渡带。幔源岩浆注入、软流 圈地幔底侵作用和壳一幔岩浆混合作用是形成含矿 斑岩的主导因素。

矿化一蚀变系统具有斑岩型矿床特征。铜金矿 体呈似板状产于斑岩体接触带,围岩蚀变具有对称 分带性,从岩体向围岩依次发育绢英岩化带、高岭石



图 5 富蕴县清水泉铜矿典型岩矿石组构照片

 Fig. 5 Rocks and ore fabrics in the Qinshuiquan copper deposit of the Fuyun county

 (a) 脉状黄铜矿化,青磐岩化安山玢岩;(b) 细脉状黄铜矿化,硅化斜长花岗斑岩;(c) 早阶段石英—黄铁矿细脉被中阶段石英—黄铁

 矿—黄铜矿脉穿切,安山玢岩;(d) 晚阶段石英—方解石细脉穿切早中阶段石英—绿泥石—硫化物,安山玢岩;Ccp—黄铜矿;Py—黄铁矿

 (a) vein-like chalcopyrite of propylitic andesitic porphyrite; (b) thread vein-like chalcopyrite of silicified plagiogranite-porphyry; (c) early-stage

 thread vein-like quartz—pyrite transected by middle-stage vein-like quartz—calcite of andesitic porphyrite; (d) early—middle stage

 vein-like quartz—chlorite—sulfide transected by late-stage thread vein-like quartz—calcite of andesitic porphyrite; Ccp—chalcopyrite; Py—pyrite

化带和青磐岩化带,与成矿相关的蚀变带为绢英岩 化带,热液蚀变为高岭石—绿泥石—绢云母—石 英—黄铁矿组合。矿化围绕接触带分布,从斑岩内 部至围岩依次为斑岩型 Cu→接触带型 Cu—Au→围 岩构造裂隙脉型 Au,矿化类型具分带性,为斑岩成 矿系统产物(张栋等,2014)。流体系统支持成矿流 体及流体中物质来源于岩浆,成矿晚阶段有大气降 水混入,成矿作用是岩浆—热液过程的产物(张栋 等,2014)。成岩成矿年代学研究表明(张栋等, 2013),含矿花岗斑岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄为 349.1±4.5Ma(MSWD=1.5,n=14),成矿期绢云 母⁴⁰Ar-³⁹Ar 坪年龄为 338.6±2.6Ma,成岩成矿作用 发生在早石炭世中期,成矿地球动力学背景为早石 炭世中晚期碰撞造山过程由挤压向伸展转换时期壳 幔界面的岩浆作用。岩石圈拆沉作用诱发的岩浆一 流体成矿作用,是该矿床形成的构造环境。

对照典型火山岩区浅成低温热液一斑岩金铜多 金属成矿系统(Sillitoe, 1997; Hedenquist et al., 1998),目前矿床已经遭受中等程度剥蚀,上部受火 山断裂控制的浅成低温热液成矿产物已经被剥蚀。 矿区仅残存少量斑岩体侧部(产于围岩火山岩内) 受断裂构造控制的脉状金矿化,而且在深部100 米 范围内尖灭。斑岩体中上部属于绢英岩化蚀变带, 并且其侧部发育宽约60余米的热液角砾岩带,对照 典型斑岩型矿床蚀变分带(Lowell et al.,1970),认 为含矿斑岩体剥蚀程度较弱,接触带和斑岩体内斑



of plagiogranite porphyry veins in the Qinshuiquan copper deposit of the Fuyun county

卡拉麦里构造带西段清水一带大洋斜长花岗岩(据唐红峰等,2007)和蛇绿岩中辉长岩(据李锦轶,1995);Troodos 蛇绿岩套斜长

花岗岩(据 Pearce et al.,1984);球粒陨石和洋脊花岗岩标准值分别引自 Sun and Mc Donough(1989)和 Pearce et al.(1984) Oceanic plagiogranite(after Li Jinyi et al.,1995) and gabbro in ophiolite(after Tang Hongfeng et al.,2007) in the Qingshui area of the western Karamaili tectonic belt; Plagiogranite of Troodos ophiolitic suite(after Pearce et al.,1984); Chondrite values after Sun and Mc Donough(1989), MORG normalizing values after Pearce et al.,(1984)

岩型矿化得以保存(图7)。

2.2.2 浅成低温热液型金矿床

金山沟金矿床为高岭石一明矾石型浅成低温热 液型金矿床(杨富全等,2005)。金矿体位于石炭系 巴塔玛依内山组下段熔结凝灰岩、玄武岩、粗安岩的 接触带及断裂破碎带中。构造上受破火山口的环 状、放射状断裂及叠加的北东向断裂裂隙控制,构造 叠加和交汇部位金矿化最发育(杨富全等,1999)。 矿体呈脉状。矿石类型为蚀变岩型和石英脉型。矿 石中金属硫化物较多,主要有黄铁矿、黄铜矿、方铅 矿、闪锌矿、毒砂、自然金、银金矿和自然银等。围岩 蚀变具有分带性,内带以强烈硅化和绢云母化为主, 中间带为黄铁矿化和硅化带,外侧为青磐岩化带 (张以熔等,1992)。金成矿作用大致分为4个阶 段,黄铁矿—闪锌矿—石英阶段,多金属硫化物阶 段,黄铁矿---石英---自然金主成矿阶段和碳酸盐阶 段(杨富全等,2005)。含金石英脉中石英流体包裹 体均一温度为 242℃~310℃,盐度为 1.2%~10. 5% (NaCleq),成矿深度在 500~600m(张以熔等, 1992)。单矿物黄铁矿、方铅矿和矿石与火山岩全 岩的硫铅同位素特征表明,成矿物质来源于围岩火 山岩(杨富全等,2005)。石英和方解石的 C-H-O 同位素组成表明成矿流体为岩浆水和大气降水的混 合(杨富全等,2005)。据陈仁义(1993)研究,金山 沟金矿床火山岩年龄为326Ma,金矿石中方铅矿铅 同位素模式年龄为201~267Ma。杨富全等(2005) 认为成矿时代可能为晚石炭世,成矿地球动力学背 景为后碰撞伸展作用。

2.2.3 两类矿床关联性

前人研究已经证实,火山岩地区存在以潜火 山一浅成侵入体为中心的浅成低温热液一斑岩型金 铜多金属成矿系统,在西南太平洋(White et al., 1995)、中国德兴铜矿田(毛景文等,2010)、福建紫 金山铜金矿田(张德全等,2003)、内蒙古额尔古纳 地区(秦克章,1998)和吉林延边地区(芮宗瑶等, 1995)等构建了相应成矿模型。两类矿床在空间上 存在关联,特别是近接触带的高硫化型浅成低温热 液型金矿床,还包括一些受远接触带和构造控制的 脉状热液金矿床(毛景文等,2010),但这些矿床组 合之间的成因联系仍然有待于进一步研究(江思宏 等,2004)。一些事实证明该系统的斑岩型矿床和 浅成低温热液型矿床可以互为找矿标志,且日益受 到高度重视。

早石炭世中晚期一二叠纪时期,卡拉麦里地区



Fig. 7 Ore-controlling model of the Songkaersu copper—gold deposit in the Qitai county Q—硅化;Se—绢云母化;Kl—高岭石化;Chl—绿泥石化;P—青磐岩化;Py—黄铁矿化;I—绢英岩化带; II—高岭石化(泥化)带;II—青磐岩化带

Q—Silicatization; Se—Sericitization; Kl—Kaolinzation; Chl—Chloritization; P—Propylitization; Py—Pyritization; I—Phyllic zone; II—Kaolinite (argillic) zone; III—Propylitic zone

发育陆相火山成矿作用(刘家远,2001),形成了两 套重要的成矿岩浆建造,即安山质一英安质火山岩 建造和中性一中酸性潜火山一浅成侵入杂岩建造, 它们具有统一的成矿专属性,成矿岩浆建造与金铜 成矿组合在空间上、时间上和物质组成上具有伴生 或依存关系。安山质一英安质陆相火山岩建造与金 成矿关系密切,形成浅成低温热液型金矿床。如金 山沟金矿等,矿床主要产于早石炭世中晚期陆相火 山岩所构成的火山盆地内,矿体直接赋存于陆相火 山岩中,矿床与矿体定位严格受火山断裂构造控制, 成矿作用主要发生在火山岩成岩之后的火山热液阶段。中性一中酸性潜火山一浅成侵入杂岩建造与铜金成矿密切相关,成矿受成矿岩浆体系制约,表现在不同条件下形成不同类型的矿床,如矽卡岩型、角砾岩筒型、斑岩型和裂隙充填脉型,或者环绕成矿岩体的不同部位形成不同类型矿化体的组合,如松喀尔苏铜金成矿系统,即包含有斑岩型(包括热液角砾岩型)、侵入体接触带型及构造充填脉状铜金矿化体的矿化组合。

浅成低温热液一斑岩型铜金成矿系统,以陆相

火山一潜火山杂岩建造构建成矿岩浆体系,成矿物 质来源于岩浆,成矿晚阶段受大气降水影响较大,矿 床空间定位受火山断裂构造和火山一潜火山杂岩体 控制,矿床组合受成矿岩体剥露、火山岩剥蚀和矿床 形成深度等制约表现出不完整性。

2.3 岩浆热液型锡金成矿系统

岩浆热液型锡金成矿系统位于卡拉麦里构造带 北侧的富碱花岗岩带中。前人研究表明(刘家远 等,1999;唐红峰等,2009),该富碱花岗岩带与锡成 矿关系密切,形成萨北、卡姆斯特和贝勒库都克等锡 矿床,主要有云英岩型和石英脉型。路彦明等 (2010b)在黄羊山碱性花岗岩体与清水一苏吉泉大 断裂之间的泥盆系地层中,新发现与富碱花岗斑岩 脉有关的岩浆期后热液型黄羊山西金矿。

与锡成矿有关的碱性花岗岩包括钠闪石花岗 岩、钠铁闪石花岗岩、碱长花岗岩和黑云母花岗岩 等。单个岩体多呈岩株或岩枝状,是同源岩浆多次 侵入构成的杂岩体。具有超酸、富碱和 ΣREE 总量 高,显著负铕异常,稀土模式呈轻稀土微右斜,重稀 土相对富集近水平状,铕强烈负异常的"V"型模式 (刘家远等,1999)。具有典型的 A 型花岗岩特征, 分属碱性 A 型和铝质 A 型花岗岩,同位素年龄(锆 石 LA-ICP-MS U-Pb)介于 313~283Ma,为后碰撞伸 展环境产物(苏玉平等,2006,2008;唐红峰等, 2007b;李永军等,2009)。

锡矿床空间上严格受碱性花岗岩控制,矿体为 云英岩化碱性花岗岩或为产于碱性花岗岩体内及其 附近围岩中的锡石一石英脉。锡成矿作用受岩浆侵 入、分异和气液蚀变控制,成矿是碱性杂岩体演化晚 期热液作用产物(喻享祥等,2000),成岩成矿年代 学研究支持上述认识。萨惹什克锡矿赋矿碱性花岗 岩锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄 306 ± 3Ma,锡矿石辉 钼矿 Re-Os 年龄 307 ±11Ma(唐红峰等,2007b)。贝 勒库都克锡矿赋矿正长花岗岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄 306 ± 5 Ma(李月臣等,2007),云英岩型锡矿石 白云母⁴⁰Ar-³⁹Ar 年龄介于 306.8 ± 2.4 ~ 309.7 ± 2.4 Ma(杨富全等,2008)。贝勒库都克锡矿带干梁子矿 田赋矿钠铁闪石花岗岩全岩 Rb-Sr 年龄 307 ± 20 Ma,含锡石英脉石英包裹体 Rb-Sr 年龄 305 ± 25Ma (陈富文等,1999)。

黄羊山西金矿目前发现4条含金蚀变花岗斑岩脉,侵位于泥盆系平顶山组凝灰岩中,近EW向平行产出。控制延长600~2000m,延深约200m,金品位介于0.24×10⁻⁶~4.82×10⁻⁶。含金花岗斑岩脉

具有与附近黄羊山碱性花岗岩一致的地球化学特征(路彦明等,2010a),表明成矿作用与碱性花岗岩有成因联系。含金花岗斑岩脉锆石 LA-ICP-MS U-Pb年龄为318.4±1.1Ma~310.3±2.6Ma(路彦明等,2010b),表明金成矿作用与碱性花岗岩和锡成矿作用为同一时代产物,成岩成矿环境同属后碰撞伸展环境。

3 地球动力学演化与成矿

3.1 成矿地球动力学环境

特定的地质构造环境常产生对应的成矿系统 (霍裕生等,2010;邓军等,2013;葛良胜等,2013)。 构造环境是成矿的首要控制因素,不同的地质环境 中发育不同的沉积建造,岩浆组合和变质作用,因而 具有不同的地球动力学特征,从而控制不同的成矿 元素组合和矿床成因类型。

根据目前相关资料,将区域主要构造环境与铜 金多金属成矿系统划分为2类:一类为晚古生代早 期(泥盆纪)俯冲增生与活动大陆边缘成矿,另一类 为晚古生代中晚期(早石炭世中晚期一二叠纪)后 碰撞造山与成矿,卡拉麦里地区金属成矿作用以后 一类为主。

3.1.1 晚古生代早期俯冲增生成矿体系

泥盆纪,东准噶尔发育两个弧盆体系。北部以 萨吾尔一二台晚古生代岛弧为代表,它为古亚洲洋 向南俯冲于萨吾尔洋壳之下形成的萨吾尔洋内岛弧 (董连慧等,2009)。东南部是卡拉麦里洋向北俯 冲,形成了较宽的陆缘弧盆系(李锦轶等,1990)。 广泛发育的弧盆系统是该区重要地质构造特点,也 是泥盆纪斑岩型铜钼金成矿作用的主导因素。

萨吾尔山岛弧指介于乔夏哈拉一布尔根带蛇绿 岩带与阿尔曼泰一扎河坝一洪古勒楞蛇绿岩带之间 的火山岩带(梅厚均等,1993)。其中早中泥盆世以 发育玻安岩、苦橄岩和富铌玄武岩的埃达克质岩石 为特征,形成于洋内俯冲机制(许继峰等,2001;张 海祥等,2004)。侵入岩以泥盆纪俯冲花岗岩(张招 崇等,2006)、石炭纪后碰撞 I 型花岗岩(袁峰等, 2006;周刚等,2009)和二叠纪后造山富碱花岗岩 (童英等,2006)等为主。

卡拉麦里洋盆向北俯冲形成野马泉一带的泥盆 纪火山岩浆弧(李锦轶等,1990),是介于阿尔曼 泰一扎河坝蛇绿岩带与卡拉麦里蛇绿岩带之间的古 生代火山岩带,向西延入西准噶尔谢米斯台,经东准 噶尔库兰卡孜干、野马泉,向东延入纸房一琼河坝地 区,为叠置发育于早古生代岛弧之上的晚古生代陆 缘火山岩带(何国琦等,2004),主体由泥盆系滨浅 海相一海陆交互相火山一沉积岩系组成。岩浆活动 以发育后碰撞富碱花岗岩为特征,侵入野马泉火山 岩浆弧的弧前盆地中(李锦轶等,1990)。

在晚古生代早期俯冲增生体系内,与洋陆俯冲 作用有关的斑岩型矿床,按其产出的构造背景有大 陆岛弧型、大洋岛弧型和弧后盆地型(董连慧等, 2009)。目前研究最为确凿属于晚古生代早期(D) 俯冲增生体制的为萨吾尔大洋岛弧带有关的卡拉先 格尔一哈腊苏一喀腊萨依铜钼金矿带(张招崇等, 2006,2007;张连昌等,2006;吴淦国等,2008;相鹏 等,2009;赵战锋等,2009;杨富全等,2010a)。 与上述俯冲增生成矿体系不同,野马泉泥盆纪 陆缘岛弧带与卡拉麦里有限洋盆北向俯冲有关,其 上的野马泉一库布苏斑岩金矿带(董连慧等, 2009),目前多数学者认为属于石炭纪一二叠纪后 碰撞环境韧性剪切带型金矿(高怀忠等,2000c;孙华 山等,2001;李华芹等,2004),野马泉金矿含矿石英 Rb-Sr等时线年龄为300Ma,库布苏金矿含矿石英 Rb-Sr等时线年龄为269Ma(李华芹等,2004),显示 金成矿作用发生在晚石炭世。初步研究表明,野马 泉地区的含金石英钠长斑岩和闪长玢岩脉侵入泥盆 系弧火山一沉积岩系中,并且被库布苏韧一脆性剪 切带切割呈透镜状和碎裂岩化(图8),显示韧脆性 剪切作用对金进一步富集有控制作用。高怀忠等



图 8 库布苏一野马泉金矿带典型照片

Fig. 8 Typical tectonic deformation and ore fabrics of the Kubusu—Yemaquan gold metallogenic belt
(a)—控矿断裂带边部的透镜状石英钠长斑岩脉,节理和蚀变发育,野马泉金矿床;(b)—控矿断裂内部碎裂化石英钠长斑岩脉,野马泉金矿床;(c)—石英钠长斑岩被后期含金石英脉穿插,库布苏金矿床;(d)—包裹变形斑岩脉的控矿韧—脆性剪切带,库布苏金矿床
(a)—Lenticular imandrite porphyry of ore-controlling fault edge with joints and alteration of Yemaquan gold deposit;(b)—Crumpled imandrite porphyry of ore-controlling fault inside of Yemaquan gold deposit;(c)—Imandrite porphyry of Kubusu gold deposit;(d)—Ore-controlling ductile—brittle shear zone with deformed porphyry of Kubusu gold deposit

(2000c)研究表明,岩脉和含金石英脉在稀土、微量 元素配分模式上不具物质成因联系。因此,剪切带 型金矿化可能是一种叠加复合关系,早期斑岩体可 能存在斑岩型金矿化,遭受强烈的变形改造使斑岩 体被切割破碎、斑岩型金矿化不易被识别,但不排除 早期俯冲增生体系内斑岩型金矿化形成后被后碰撞 韧性剪切带型金矿化动力改造的可能性。

以上分析表明,泥盆纪俯冲增生成矿体系,主要 形成洋陆俯冲环境斑岩型铜金成矿系统,俯冲板片 脱水交代楔形地幔部分熔融可以解释该成矿系统的 形成机制(Corbett,2002;Richards,2003,2005)。该 成矿系统主要分布在东准噶尔萨吾尔岛弧带。卡拉 麦里以北至野马泉之间发育弧盆系统和陆缘火山岩 带,但该类成矿系统是否发育或如何正确鉴别值得 进一步研究。

3.1.2 晚古生代中晚期后碰撞造山成矿体系

准噶尔与邻区的碰撞作用发生时限尽管尚有争 议,如晚泥盆世末一早石炭世初(韩宝福等,2006; 王京彬等,2006)、早石炭世末(肖序常等,1992)、中 石炭世(陈衍景,1996)、晚石炭世(Han et al., 2011)、晚泥盆世—早石炭世和晚石炭世—二叠纪 两次不同方向碰撞事件(Buslov et al., 2004)和晚二 叠世—中三叠世(Xiao et al., 2008, 2009), 但依据近 年来的同位素测年资料和相关研究(李华芹等, 2004;韩宝福等,2006;王京彬等,2006;杨富全等, 2010b),众多事实表明新疆北部金属成矿作用主要 集中在早石炭世中晚期一二叠纪的后碰撞阶段。万 天丰(2013)最近强调天山—阿尔泰地区金属成矿 作用并不出现在碰撞作用最强烈的主碰撞时期。根 据东准噶尔近年发表的矿床高精度定年资料,本文 将卡拉麦里地区晚古生代中晚期后碰撞造山成矿体 系划分为2个主要阶段,挤压一伸展转换阶段(早 石炭世中晚期345~320Ma)和伸展阶段(晚石炭 世一二叠纪 320~250Ma)。

早石炭世中晚期(345~320Ma)挤压一伸展转 换阶段成矿。卡拉麦里地区自早石炭世早期残余海 盆沉积物和下伏地层被卷入褶皱体制至早石炭世中 晚期(维宪阶)开始的后碰撞陆相钙碱性火山喷发 为转换时期标志性地质事件。与陆相钙碱性火山喷发 为转换时期标志性地质事件。与陆相钙碱性火山岩 浆活动有关的松喀尔苏花岗斑岩成岩成矿作用发生 在早石炭世中期(349~338Ma),为挤压向伸展转换 过程壳幔相互作用产物(张栋等,2014),区域相应 陆相火山活动时代最早为早石炭世350Ma(谭佳奕 等,2009),属于后碰撞陆相火山活动产物(吴小奇 等,2009)。区域上与东准噶尔东北缘希勒库都克 后碰撞环境斑岩型钼铜矿成矿时代近一致(332~ 327Ma)(王莉娟等,2009;龙灵利等,2010)。与该时 期陆相火山活动有关的高硫化型浅成低温热液型金 矿床金山沟金矿缺少高精度定年数据,但普遍认为 从早石炭世中晚期火山岩形成到二叠纪成矿作用经 历了较长时间,与早期岩浆水供给和加热的大气降 水持续循环有关(陈仁义,1993;杨富全等,2005)。

晚石炭世—二叠纪(320~250Ma)伸展阶段成 矿。为本区及区域大规模金属成矿作用的高峰期。 该时期在卡拉麦里地区出现大规模富碱花岗岩类侵 入和卡拉麦里构造带由韧性向脆性发生变形转换 (陈衍景,1996)。同时卡拉麦里构造带南侧的后碰 撞陆相火山活动达到高峰(Xiao Yan et al.,2011;Su Yuping et al.,2012)。卡拉麦里构造带内双泉金矿 初始成矿流体事件为310Ma 左右,主成矿作用发生 在260~269Ma(徐斌等,2009)。清水金矿含金石 英脉 Rb-Sr 等时线年龄为311Ma(李华芹等,2004)。 集中于卡拉麦里富碱花岗岩带内的岩浆热液型锡 (金)成矿作用属于晚石炭世后碰撞伸展体制(前已 叙述)。

结合区域新疆北部天山—阿尔泰地区,典型控 矿韧性剪切带发生韧一脆性变形转换与金成矿作用 集中在 300Ma ± 和 270Ma ± (李华芹等, 2004; 闫升 好等,2004,2006;周刚等,2007);晚石炭世后碰撞环 境斑岩成矿作用目前发现在西准噶尔达拉布特断裂 带附近的包古图地区(宋会侠等,2007;唐功建等, 2009;刘玉琳等,2009),准噶尔北缘索尔库都克矽卡 岩一斑岩型铜钼矿床与晚石炭世末一早二叠世初的 岩浆热液活动有关(李华芹等,2004)。东准噶尔北 缘哈腊苏俯冲环境斑岩主成矿作用之后叠加二叠纪 后碰撞环境斑岩成矿作用(薛春纪等,2010)。喀拉 通克和黄山等地的镁铁质—超镁铁质杂岩中的铜镍 硫化物矿床、东天山地区浅成低温热液型金矿床等 也集中出现于晚石炭世一二叠纪的后碰撞时期(毛 景文等,2002,2006;王京彬等,2006),以及天山、东 西准噶尔和阿尔泰等地该时期(阿尔泰可能早至晚 泥盆世)发生大量后碰撞花岗岩类侵入活动(夏祖 春等,2005;韩宝福等,2006;周刚等,2009)。

以上事实表明,早石炭世中晚期一二叠纪后碰 撞造山成矿体系广泛发育于新疆北部天山一准噶 尔一阿尔泰地区,新疆北部诸多优势矿种(如金、 铜、镍、锡、稀有金属等)和主要成矿类型(斑岩型、 矽卡岩型、浅成低温热液型、韧性剪切带型、岩浆热 液型和岩浆熔离型等)都形成干该时期,这些多类 型和矿种的矿床组合形成特定的金属成矿系统。卡 拉麦里地区主要表现为前述的3类金属成矿系统 (图9a),在新疆北部具有普适性,在其它地区也能 够构建出相应的成矿系统(毛景文等,2002)。与这 些成矿系统相应的后碰撞岩浆侵入事件可能说明新 疆北部大规模地壳垂向增生与幔源岩浆底侵作用广 泛存在(韩宝福等,1998),而岩石圈拆沉模式可以 引起区域广泛的后碰撞花岗岩类分布 (Mahéo et al.,2009)。后碰撞环境,包括早期挤压一伸展转换 环境,构造形式主要是走滑和伸展构造,这种构造条 件极易诱发岩浆活动,是造山带花岗岩类侵位的主 要环境。转换与伸展过程中减压降温体制可以导致 造山带中强烈流体循环与混合作用发生。因此,与 大陆岩石圈拆沉和软流圈地幔上涌所产生的走滑伸 展构造—壳幔岩浆作用—混合流体作用是卡拉麦里 地区和新疆北部后碰撞环境(包括转换环境)金属 成矿作用的重要形成机制(图9b)。

3.2 成矿地球动力学演化过程

前人从不同空间尺度探讨过该地区的地质构造 和演化过程,如新疆北部(肖序常等,1992)、新疆东 部(李锦轶,2004)和卡拉麦里地区(李锦轶等, 1990)。但结合成矿作用探讨成矿演化过程或成矿 地球动力学背景较为滞后(陈仁义,1993;喻亨祥 等,1999),本文基于成矿系统和成矿地球动力学环 境分析基础上,结合区域地质演化资料,尝试探讨该 区成矿地球动力学演化过程(图10)。

卡拉麦里作为东准噶尔造山带(李锦轶,2004) 的一部分,其地球动力学演化与相邻地区密切相联。 主要表现为古洋的打开与关闭,以及古陆逐步增生 到西伯利亚板块南缘的洋陆构造格局演化过程(李 锦轶,2004)。包括准噶尔地块、阿尔泰地块,以及 东天山喀拉塔格地块和南天山库鲁克塔格地块等, 分割这些古陆的洋盆由萨彦洋盆、阿尔曼泰洋盆、卡 拉麦里洋盆以及毗邻的北天山和南天山洋盆,均为 古亚洲洋内的分支洋或有限洋盆。奥陶纪期间,随 着萨彦洋盆北向俯冲的结束,阿尔泰地块与西伯利 亚古板块的活动陆缘碰撞。阿尔曼泰蛇绿岩所代表 的洋盆打开(刘伟,1993;金成伟等,2001;张元元等, 2010)。阿尔曼泰洋盆向南俯冲,于其南侧发育早 古生代弧盆系统(李锦轶,2004)。志留纪中期,阿 尔曼泰洋盆关闭,北侧的阿尔曼泰早古生代活动陆 缘与西伯利亚古陆碰撞。但其他的洋盆和活动陆缘 持续发展。泥盆纪初期,弧一陆碰撞所产生的弧后 伸展广泛发育在西伯利亚古陆南缘地区,可能分别 形成了额尔齐斯裂陷槽、卡拉麦里洋盆和哈尔里克 海盆等。卡拉麦里蛇绿岩所代表的洋盆具有弧后盆 地性质(Li Jinyi et al., 2003)。而活动陆缘继续发 育在濒临斋桑洋盆的阿尔泰地块南缘、北天山洋盆 北缘和南天山洋盆南缘。从中泥盆世开始,卡拉麦 里弧后洋盆向北俯冲(李锦轶,2004),洋盆北缘转 化为活动陆缘,形成库兰卡孜干一野马泉一带的陆 缘火山岩带,叠加在阿尔曼泰南侧早古生代弧盆系 统转化的陆壳基础之上(何国琦等,2004),准噶尔 地块北缘则为被动陆缘(李锦轶,1990)。早石炭世 早期,卡拉麦里弧后盆地萎缩,野马泉一带的火山弧 与南侧的准噶尔地块发生弧一陆初始碰撞,弧后盆 地转变为陆间残余海盆(李锦轶等,1990),形成了 残余海盆沉积物。早石炭世早中期,卡拉麦里一带 发生全面弧一陆碰撞作用,早石炭世早期残余海盆 沉积物和下伏地层被卷入褶皱逆冲体制中,卡拉麦 里逆冲推覆型韧性剪切带形成。早石炭世中晚期, 由挤压经走滑开始向伸展转换,卡拉麦里南麓后碰 撞陆相火山岩不整合覆盖于下伏泥盆系一早石炭世 早期被动陆缘沉积岩系(李锦轶,2004)。壳一幔界 面相互作用产生的壳幔混合岩浆为浅成低温热液— 斑岩铜金成矿系统产生提供了良好的动力学环境。 从晚石炭世开始到二叠纪全面进入后碰撞伸展时 期,由挤压向伸展转化之后,发生富碱中酸性花岗岩 类侵入,形成控矿韧一脆性剪切带和造山型金成矿 系统,部分早期海相火山岩中的铜等成矿物质受到 幔源岩浆进一步交代和构造改造活化,形成构造控 制的脉状铜矿化,加入到造山型成矿系统中。与富 碱花岗岩类有关的云英岩型和石英脉型锡矿,以及 与碱性花岗斑岩脉有关的岩浆热液型金矿形成岩浆 热液型成矿系统此时定位。与大陆岩石圈拆沉和软 流圈地幔上涌所产生的走滑伸展构造——壳幔岩浆作 用一混合流体作用是卡拉麦里地区后碰撞环境(包 括转换环境)不同成矿方式、不同成矿组合和不同 流体动力在统一的时空形成不同金属成矿系统的机 制。碰撞过程最终使准噶尔地块增生到西伯利亚板 块南缘。区域上在石炭纪期间,部分可能持续到二 叠纪,塔里木地块与西伯利亚增生边缘碰撞,结束了 新疆东北部洋陆格局的演化(李锦轶,2004)。

4 结论

(1)卡拉麦里地区晚古生代增生一碰撞成矿作用主要集中在两个时期,以卡拉麦里北缘至野马泉



图 10 卡拉麦里地区及邻区古生代地球动力学演化过程示意图(据李锦轶,2004 修改)

Fig. 10 Schematic diagram of Paleozoic geodynamic evolution of the Karamaili and adjacent areas(modified after Li Jinyi, 2004)

为主的泥盆纪和以卡拉麦里地区为主的早石炭世中 晚期一二叠纪;

(2)卡拉麦里地区金铜多金属成矿系统矿床组 合包括韧性剪切带型金矿、浅成低温热液型金矿、岩 浆期后热液脉型金矿、斑岩型铜金矿、构造控制脉型 铜矿和云英岩—石英脉型锡矿;

(3)卡拉麦里地区成矿系统划分为早石炭世中 晚期后碰撞挤压一伸展转换阶段浅成低温热液一斑 岩型金铜成矿系统,晚石炭世一二叠纪后碰撞伸展 阶段造山型金铜成矿系统和岩浆热液型锡金成矿系统;

(4) 卡拉麦里以北一野马泉泥盆纪陆缘弧地

区,泥盆纪活动大陆边缘斑岩型金成矿系统可能被 晚石炭世一二叠纪后碰撞造山型金成矿系统叠加或 动力改造;

(5)后碰撞作用主导了卡拉麦里地区(乃至新 疆北部)金属成矿系统,大陆岩石圈拆沉和软流圈 地幔上涌所产生的走滑伸展构造—壳幔岩浆作用— 混合流体作用是卡拉麦里地区金属成矿作用的重要 地球动力学机制。

致谢:野外期间得到中国人民武装警察部队黄 金第八支队的支持;成文过程中与武警黄金地质研 究所郭晓东博士和杨贵才博士的探讨使作者受益颇 多;审稿专家提出了宝贵建议;在此一并致谢!

注释 / Notes

- 新疆维吾尔自治区国家 305 项目. 1994. 卡拉麦里一带金矿成矿 条件与靶区综合评价研究报告.
- 2 新疆维吾尔自治区地质矿产局第二区调大队. 1984. 1:5 万库克 阿腾阿特尔幅、库孜滚德能・阿根达格库都克幅、索尔库都克幅 和科仍温德尔幅区域地质报告.
- 中国人民武装警察部队黄金地质研究所. 2012. 新疆东准噶尔成 矿带清水一松喀尔苏地区铜金成矿规律与找矿预测研究报告.

参考文献 / References

- 陈富文,李华芹,蔡红,刘群,常海亮. 1999. 新疆干梁子锡矿田成岩 成矿作用同位素年代学研究及矿床成因探讨. 矿床地质,18 (1):91~97.
- 陈仁义. 1993. 新疆东准噶尔区域构造演化及其铜金矿床成矿规 律. 中国地质科学院.
- 陈衍景. 1996. 准噶尔造山带碰撞体制的成矿作用及金等矿床分布 规律. 地质学报, 70(3): 253~261.
- 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.
- 邓军,葛良胜,杨立强. 2013. 构造动力体制与复合造山作用——兼 论三江复合造山带时空演化. 岩石学报,29(4):1099~1114.
- 董连慧,徐兴旺,屈讯,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. 岩石学报,25(4):713~737.
- 高怀忠, 张旺生, 孙华山. 2000a. 板块碰撞产物——强应变构造带 对东准噶尔金矿的控制. 地质与勘探,36(3):15~17.
- 高怀忠, 张旺生. 2000b. 东准噶尔强应变构造带成矿系统的特征、 成矿流体和热动力条件分析. 地球科学, 25 (4):369~374.
- 高怀忠,孙华山,张旺生. 2000c. 东准噶尔库布苏金矿床岩脉与金矿 成因关系的研究. 岩石学报,16(4):595~601.
- 葛良胜,邓军,王长明. 2013. 构造动力体制与成矿环境及成矿作 用一以三江复合造山带为例. 岩石学报,29(4):1115~1128.
- 韩宝福,何国琦,王式洸,洪大卫. 1998. 新疆北部后碰撞幔源岩浆 活动与陆壳纵向生长.地质论评,44(4):396~406.
- 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.
- 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. 北京: 地质出版社,1~65.
- 江思宏,聂凤军,张义,胡朋. 2004. 浅成低温热液型金矿床研究最 新进展. 地学前缘,11(2):401~411.
- 金成伟,黄萱,徐永生,李曰俊. 2001. 洪古勒楞一阿尔曼泰蛇绿岩 及其与成矿关系.见:新疆金属矿产资源的基础研究.北京:科学 出版社,21~57.
- 李华芹,陈富文,等.2004.中国新疆区域成矿作用年代学.北京: 地质出版社,19~82.
- 李锦轶,肖序常,汤耀庆,赵民,朱宝清,冯益民.1990.新疆东准 噶尔卡拉麦里地区晚古生代板块构造的基本特征.地质论评, 36 (4):305~316.
- 李锦轶. 1995. 新疆东准噶尔蛇绿岩的基本特征和侵位历史. 岩石 学报,11 (增刊):73~84.
- 李锦轶. 2004. 新建东部新元古代晚期和古生代构造格局及其演变. 地质论评,50(3):304~322.
- 李锦轶,杨天南,李亚萍,朱志新. 2009. 东准噶尔卡拉麦里断裂带 的地质特征及其对中亚地区晚古生代洋陆格局重建的约束.地 质通报,28 (12):1817~1826.
- 李永军,杨高学,吴宏恩,司国辉,金朝,张永智.2009. 东准噶尔

贝勒库都克铝质 A 型花岗岩的厘定及意义. 岩石矿物学杂志, 28 (1):17~25.

- 李月臣,杨富全,赵财胜,张岩,闫升好,代军治,徐林刚. 2007. 新疆 贝勒库都克岩体的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄及其地质意义. 岩石 学报,23(10):2483~2492.
- 刘家远,喻亨祥,吴郭泉. 1999. 新疆东准噶尔两类碱性花岗岩及其 地质意义.矿物岩石地球化学通报,18(2):89~94.
- 刘家远. 2001. 论新疆东准噶尔陆相火山成矿作用. 大地构造与成 矿学,25(4): 434~438.
- 刘玉琳,郭丽爽,宋会侠,宋彪,张锐,许发军,张云孝. 2009. 新疆西 准噶尔包古图斑岩铜矿年代学研究.中国科学(D辑),39(10): 1466~1472.
- 刘伟,张湘炳. 1993. 乌伦古一斋桑泊构造杂岩带特征及其地质意 义.见:新疆北部固体地球科学新进展. 北京:科学出版社,217 ~228.
- 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矿区岩浆混合作用:来自锆 石 U-Pb 年代学的证据. 岩石学报,26(2):449~456.
- 路彦明,赵军,陈祥,张栋. 2007. 东准噶尔双泉地区韧一脆性剪切带与金矿成矿.新疆地质,25 (2):164~168.
- 路彦明,张玉杰,潘懋,范俊杰,刘翼飞,张栋,陈晓吾,潘爰军. 2010a. 新疆东准噶尔地区金矿类型、地质特征.地球学报,31 (3):434~442.
- 路彦明,张玉杰,潘懋,刘翼飞,徐斌,朝银银,张栋,范俊杰,陈晓吾, 潘爱军. 2010b. 准噶尔黄羊山西金矿区含矿花岗斑岩锆石 SHRIMP U-Pb 测年及其地质意义.吉林大学学报(地球科学版),40(4):852~858.
- 路彦明,范俊杰,张栋,潘爱军,陈晓吾,张玉杰. 2010c. 新疆东淮双 泉地区与韧一脆性剪切带有关的金矿成矿. 地质与勘探,46 (增 刊):1159~1167.
- 毛景文,杨建民,韩春明,王志良. 2002. 东天山铜金多金属矿床成 矿系统和成矿地球动力学模型. 地球科学,27(4):413~424.
- 毛景文, Franco PIRAJNO, 张作衡, 柴凤梅, 杨建民, 吴华, 陈世平, 程 松林, 张长青. 2006. 天山—阿尔泰东部地区海西晚期后碰撞 铜镍硫化物矿床: 主要特点及可能与地幔柱的关系. 地质学报, 80(7):925~942.
- 毛景文,张建东,郭春丽. 2010. 斑岩铜矿—浅成低温热液银铅锌— 远接触带热液金矿矿床模型:一个新的矿床模型—以德兴地区 为例.地球科学与环境学报,32(1):1~14.
- 梅厚均,杨学昌,王俊达. 1993. 额尔齐斯河南侧晚古生代火山岩的 微量元素地球化学与构造环境的变迁史.见:新疆北部固体地球 科学新进展.北京:科学出版社,199~216.
- 聂晓勇,宋谢炎,薄科武,章文忠,刘涛. 2009.卡拉麦里金矿带典型 矿床一双泉金矿的地质地球化学特征及成因.矿物岩石地球化 学通报,28(2):169~176.
- 彭晓明,莫江平,郦今敖,席小平,三金柱. 2004. 新疆哈尔里克双峰 山浅成低温热液金矿床的地质特征与成矿模式. 矿床地质,23 (1):101~107.
- 秦克章. 1998. 额尔古纳南段中生代斑岩—次火山岩—浅成低温 Cu, Mo, Pb, Zn, Ag 成矿系统. 矿床地质,17(增刊): 201 ~ 206.
- 秦克章. 2000. 新疆北部中亚型造山与成矿作用. 中国科学院地质 与地球物理研究所.
- 芮宗瑶,张洪涛,王龙生,陈仁义,金伯禄,金逢洙,万玉胜,周永昶,孟 庆丽. 1995. 吉林延边地区斑岩型一浅成热液型金铜矿床.矿 床地质,14(2):99~126.
- 舒良树,王玉净. 2003. 新疆卡拉麦里蛇绿岩带中硅质岩的放射虫 化石.地质论评,19(4):408~412.

- 宋会侠,刘玉琳,屈文俊,宋彪,张锐,成勇. 2007. 新疆包古图斑岩 铜矿床矿床地质特征.岩石学报,23(8):1981~1988.
- 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. 2008. 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.
- 孙华山,高怀忠. 2001. 新疆库布苏金矿成矿流体特征及成矿流体 性质判别. 地质找矿论丛,16(3):173~177.
- 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.
- 唐红峰,苏玉平,刘丛强,侯广顺,王彦斌. 2007a. 新疆北部卡拉 麦里斜长花岗岩的锆石 U-Pb 年龄及其构造意义.大地构造与成 矿学,31 (1):110~117.
- 唐红峰,屈文俊,苏玉平,侯广顺,杜安道,丛峰. 2007b. 新疆萨惹 什克锡矿与萨北碱性 A 型花岗岩成因关系的年代学制约. 岩石 学报,23 (8):1989~1997.
- 唐红峰,苏玉平,邱华宁,韩宇捷. 2009. 新疆东准噶尔贝勒库都克 锡矿带锡成矿的⁴⁰Ar-³⁹Ar 年龄. 岩石学报,25(6):1303~1309.
- 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.地球科学,34(1):56~74.
- 童英,王涛,VPKovach,洪大卫,韩宝福. 2006. 阿尔泰中蒙边界塔 克什肯口岸后造山富碱侵入岩体的形成时代、成因及其地壳生 长意义. 岩石学报,22(5):1267~1278.
- 万天丰. 2013. 天山—阿尔泰地区古生代构造及相关的内生成矿作 用. 矿床地质,32(4):705~714.
- 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. 岩石学报,25 (4):944~954.
- 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.北京:地质出版社,1~345.
- 吴润江,张元元,谭佳奕,郭召杰. 2009. 新疆卡拉麦里地区晚古生 代以来不同构造层特征及大地构造意义. 地学前缘,16 (3): 102~109.
- 吴小奇,刘德良,李振生. 2009. 卡拉麦里缝合带后碰撞期火山活动. 地学前缘,16(3):220~230.
- 夏祖春,徐学义,夏林圻,李向民,马中平,王立社. 2005. 天山石炭—二叠纪后碰撞花岗质岩石地球化学研究.西北地质,38 (1):1~14.
- 肖序常,汤耀庆,冯益民,朱宝清,李锦轶,赵民. 1992. 新疆北部及 其邻区大地构造.北京:地质出版社,1~169.
- 肖文交,韩春明,袁超,陈汉林,孙敏,林寿发,厉子龙,毛启贵,张继 恩,孙枢,李继亮. 2006. 新疆北部石炭纪一二叠纪独特的构 造一成矿作用:对古亚洲洋构造域南部大地构造演化的制约.岩 石学报,22(5):1062~1076.
- 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. 岩石 学报,25(6):1474~1483.
- 徐斌,路彦明,顾学祥,章文忠.2009.新疆奇台地区双泉金矿床的 成矿时代.地质通报,28 (12):1871~1884.
- 徐斌,路彦明,顾雪祥,章文忠. 2010a. 新疆卡拉麦里地区金成矿流 体和 O、H、S 同位素地球化学特征. 地学前缘,17(4):227~240.
- 徐斌. 2010b. 新疆卡拉麦里成矿带金矿构造一岩浆控矿规律及找

矿预测研究.中国地质大学(北京).

- 许继峰,梅厚均,于学元,陈繁荣,郑作平. 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):684~687.
- 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一以阿尔泰东南缘 哈腊苏铜矿床地质、地球化学和成岩成矿时代研究为例.地学前 缘,17(2):53~82.
- 闫升好,陈文,王义天,张招崇,陈柏林. 2004. 新疆额尔齐斯金成矿带的⁴⁰Ar/³⁹Ar年龄及其地质意义. 地质学报,78 (4):500 ~ 506.
- 闫升好,滕蓉丽,王义天,等. 2006. 新疆布尔根含金剪切带的⁴⁰Ar/ ³⁹Ar年龄及其地质意义.中国地质,33(3):648~655.
- 杨富全,吴海,张以熔. 1999. 新疆金山沟金矿床地质特征和成因. 贵金属地质,8(2):76~81.
- 杨富全, 吴海. 2000. 新疆东准噶尔金矿成因类型及地质特征. 地 质找矿论丛,15(1):39~45.
- 杨富全,毛景文,夏浩东,赵财胜,李蒙文,叶会寿.2005. 新疆北部 古生代浅成低温热液型金矿特征及其地球动力学背景. 矿床地 质,24(3):242~263.
- 杨富全,毛景文,闫升好. 2008. 新疆东准噶尔贝勒库都克锡矿床成 矿时代及成矿作用.地质论评,54(5):626~640.
- 杨富全, 闫升好, 屈文俊, 周刚, 刘锋, 耿新霞, 刘国仁, 王祥. 2010a. 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. 地学前缘, 17(2): 359~374.
- 杨富全, 闫升好, 刘国仁, 周刚, 张志欣, 刘锋, 耿新霞, 郭春丽. 2010b. 新疆准噶尔斑岩铜矿地质特征及成矿作用. 矿床地质, 29(6): 956~971.
- 喻亨祥,夏斌,刘家远. 1999. 东准噶尔地区花岗岩类及有关矿床特征、形成地球动力学背景和模式. 地球学报,20(增刊):275~280.
- 喻亨祥,夏斌,刘家远,吴郭泉. 2000. 东准噶尔碰撞造山作用与花 岗岩类及有关金属成矿系列. 桂林工学院院报,20(3):213 ~ 219.
- 于学元,梅厚均,杨学昌. 1993. 额尔齐斯火山岩及构造演化.见:新 疆北部固体地球科学新进展.北京:科学出版社,185~198.
- 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. 岩石学报, 22(5):1238~1248.
- 翟裕生,邓军,彭润民,王建平. 2010. 成矿系统论.北京:地质出版 社,1~313.
- 张德全,佘宏全,李大新,丰成友. 2003. 紫金山地区的斑岩—浅成 热液成矿系统. 地质学报,77(2):253~261.
- 张栋,范俊杰,刘鹏,潘爱军,王治华,张玉杰,赵军,雷文大. 2013. 新疆东准噶尔松喀尔苏铜金矿区蚀变绢云母⁴⁰ Ar/³⁹ Ar年龄及其 地质意义.矿物岩石,33(4):61~67.
- 张栋,范俊杰,刘鹏,潘爱军,王治华,张峰,金宝义,王斌,朝银银,赵 军,雷文大,仁传涛. 2014. 新疆东淮噶尔松喀尔苏铜金矿区斑 岩型矿床成因研究.矿床地质,33(2):286~306.
- 张栋,范俊杰,刘鹏,潘爱军,王治华,张峰,赵军,雷文大. 2015.新 疆东准噶尔松喀尔苏斑岩型铜金矿床的火山构造系统及其控矿 作用.大地构造与成矿学(待刊).
- 张峰,陈建平,徐涛,范俊杰,潘爱军,郭晓东,李杰美,朝银银. 2014. 东准噶尔晚古生代依旧存在俯冲消减作用一来自石炭纪火山岩 岩石学、地球化学及年代学证据.大地构造与成矿学,38(1): 140~156.

 $10(1):106 \sim 113.$

- 张继武,张玉杰,路彦明,张栋,赵军,范俊杰,董华芳.2009.新 疆卡拉麦里地区与韧一脆性剪切带有关的金矿床成因分析—— 来自流体包裹体、同位素的证据.黄金,30(3):23~29.
- 张连昌,夏斌,牛贺才,李文铅,方维萱,唐红峰,万博. 2006. 新疆晚 古生代大陆边缘成矿系统与成矿区带初步探讨. 岩石学报,22 (5):1387~1398.
- 张以熔,朱明玉,田慧新. 1992. 东准噶尔地质及金锡矿产研究.北 京:地震出版社,162~175.
- 张玉杰,张栋,路彦明,范俊杰,潘爱军,张峰. 2013. 新疆东准噶尔 卡拉麦里构造带多期变形和金叠加成矿.地质与勘探,49(5): 797~812.
- 张元元,郭召杰. 2010. 准噶尔北部蛇绿岩形成时限新证据及其东、 西准噶尔蛇绿岩的对比研究. 岩石学报,26(2):421~430.
- 张招崇, 闫升好, 陈柏林, 周刚, 贺永康, 柴凤梅, 何李新, 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.
- 张招崇,周刚,闫升好,陈柏林,贺永康,柴凤梅,何立新. 2007. 阿尔泰山南缘晚古生代火山岩的地质地球化学特征及其对构造演化的启示.地质学报,81(3):344~358.
- 赵磊,季建清,徐芹芹,龚俊峰,涂继耀,王金铎. 2012. 新疆北部卡 拉麦里晚古生代走滑构造及其叠加变形序次. 岩石学报,28 (7):2257~2268.
- 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.
- 周刚,张招崇,王新昆,王祥,罗世宾,何斌,张小林. 2007. 新疆玛因 鄂博断裂带中花岗质糜棱岩锆石 U-Pb SHRIMP 和黑云母⁴⁰ Ar/ ³⁹ Ar年龄及意义. 地质学报,81(3):359~369.
- 周刚,吴淦国,董连慧,张招崇,董永观,童英,何李新,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.
- Buslov M M, Watanabe T, Fujiwara Y, Iwata K, Smirnova L V, Safonova Y I, Semakov N N and Kiryanova A P. 2004. Late Paleozoic faults of the Altai region, Central Asia: Tectonic pattern and model of formation. Journal of Asian Earth Sciences, 23:655 ~671.
- Corbett G. 2002. Epithermal gold for explorationists. AIG Journal— Applied Geoscientific Practice and Research in Australia, April: 1 ~26.
- Goldfarb R J, Groves D I and Gradoli S. 2001. Orogenic gold and geologic time: A global synthesis. Ore Geology Reviews, 18(1~2): 1~75.
- Han Baofu, He Guoqi, Wang X C. 2011. Late Carboniferous collision between the Tarim and Kazakhstan—Yili terranes in the western segment of the south Tianshan orogen, Central Asia, and implications for the Northern Xinjiang, western China. Earth-Science Reviews, 109:74~93.
- Hedenquist J W, Arriba A J and Reynolds T J. 1998. Evolution of an intrusion-centered hydrothermal system: Far Southeast-Lepanto porphyry and epithermal Cu—Au deposits, Philippines. Economic Geology, 93: 373 ~ 404.

- Li Jinyi, Xiao Wenjiao, Wang K. 2003. Neoproterozoic—Paleozoic tectonostratigraphy, magmatic activities and tectonic evolution of eastern Xinjiang, NW China. In: Mao J W, Goldfarb R J, Seltman R, Wang D H, Xiao W J and Hart C (eds). Tectonic evolution and metallogeny of the Chinese Altay and Tianshan: IAGOD Guidebook Series 10. CERCAM/NHM, London, 31 ~ 74.
- Liu Yulin, Guo Lishuang, Song H X. 2009. Geochronology of Baogutu porphyry copper deposit in western Junggar area, Xinjiang of China. Sci. China (Ser. D). ,52(10):1543 ~1549.
- Lowell J D and Guilbert J M. 1970. Lateral and vertical alterationmineralization zoning in porphyry ore deposits. Econ. Geol., 65: 373 ~ 408.
- Mahéo G, Blichert-Toft J, Pin C, Guillot S and Pecher A. 2009. Partial melting of mantle and crustal sources beneath south Karakorum, Pakistan: implications for the Miocene geodynamic evolution of the India—Asia convergence zone. J. petrol. ,50(3): 427 ~449.
- Pearce J A, Harris B W and Tindle A G. 1984. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. J. Petrol. ,25:956~983.
- Richards J P. 2003. Tectono—magmatic precursors for porphyry Cu— (Mo—Au)deposit formation. Econ. Geol. ,98:1515 ~ 1533.
- Richards J P. 2005. Cumulative factors in the generation of giant calcalkaline porphyry Cu deposits. In: Porter T M, ed. Super-porphyry copper&gold depostis: A global perspective. Adelaide: PGC Publishing, 7 ~ 25.
- Sillitoe R H. 1997. Characteristics and controls of the largest porphyry copper—gold and epithermals gold deposits in the circum-Pacific region. Australian Journal of Earth Sciences, 44: 373 ~ 388.
- Su Yuping, Zheng Jianping, William L G. 2012. Geochemistry and geochronology of Carboniferous volcanic rocks in the eastern Junggar terrane, NW China:Implication for a tectonic transition. Gondwana Research, 22: 1009 ~ 1029.
- Sun S S and McDonough W F. 1989. Chemical and isotopic system atics of oceanic basalts: Implications for mantle composition and processes. In:Saunders A D, Norry M J. Magmatism in the Ocean Basin. Geological Society, London, 42: 313 ~ 345.
- White N C, Hedenquist J W. 1995. Epithermal gold deposits: Styles, Characteristics and exploration. SEG Newsletter, 23: 9 ~ 13.
- Xiao Yan, Zhang Hongfu, Shi Ji'an. 2011. Late Paleozoic magmatic record of east Junggar, NW China and its significance: Implication from zircon U-Pb dating and Hf istope. Gondwana Research, 20: 532 ~542.
- Xiao Wenjiao, Han Chunming, Yuan Chao. 2008. Middle Cambrian to Permian subduction-related accretionary orogenesis of Northern Xinjiang, NW China: implications for the tectonic evolution of Central Asia. Journal of Asian Earth Scinenecs, 32:102 ~ 117.
- Xiao Wenjiao, Windley B F. 2009. End-Permian to mid-Triassic termination of the accretionary processes of the Southern Altaids: implications for the geodynamic evolution, Phanerozoic continental growth, and metallogeny of Central Asia. International Journal of Earth Sciences, 98:1189 ~ 1217.

Metallogenic Systems of Polymetallic Gold and Copper Deposits and Related Metallogenic Geodynamic Model in Karamaili of Eastern Junggar, Xinjiang

ZHANG Dong¹, LU Yanming¹, GE Liangsheng¹, WANG Zhihua^{1,2}, LI Bo³, FAN Junjie¹, ZHANG Yujie¹

Gold Geological Institute of CAPF, Langfang, Hebei, 065000;2) China University of Geoscience, Beijing, 100083;
 Institute of Geological Survey of Hebei Province, Shijiazhuang, Hebei, 050081

Abstract: The Karamaili were located in south position of the eastern Junggar metallogenic belt of the Central Asia—Great Hinggan metallogenetic megaprovince, which were characterized by accretion—collision processes, intense tectonic-magma activity, and abundant mineral resources in the Late Paleozoic. The metallogenic processes in the Late Paleozoic had two major stages with the Devonian-Early Carboniferous in the northern Karamaili—Yemaguan and the Middle—Late period of the Early Carboniferous—Permian in the Karamaili. Based on studying of the tectonic evolution of northeastern Xinjiang, and geodynamics and mineralization characteristics of deposits, This paper suggested that the polymetallogenic systems in the Late Paleozoic in the Karamaili were divided into different types of (1) the porphyry-type gold metallogenic systems in the Devonian active continental margin, (2) the epithermal—porphyry-type copper—gold metallogenic systems formed extrusion-stretching conversion stage in the Middle—Late period of the Early Carboniferous arc—continental collision, (3) the orogenic-type gold copper metallogenic systems and (4) the magmatic—hydrothermal tin—gold metallogenic systems in the Late Carboniferous—Permian post collisional extension stage after arc—continental collision. The latter three types of the polymetallogenic systems in the Karamaili were the main factors responsible for the formation of deposits. The major genetic types of polymetallic deposits were composed of the ductile shear zone-type gold deposits, the epithermaltype gold deposits, the magmatic—hydrothermal vein-type gold deposits, the porphyry-type copper—gold deposits, the tectonic-controlled vein-type copper deposits and the greisen—quartz vein-type tin deposits. The authors hold that (1) the porphyry-type gold metallogenic systems in the Devonian active continental margin in the northern Karamaili—Yemaquan could have been superimposed by the Late Carboniferous—Permian post-collisional gold metallogenic systems to fail to recognize; (2) it were dominant for the polymetallogenic systems in Karamaili to post-collisional environment, and (3) metallization were conducted by effect on strke-slipping and extensional tectonics, crust—mantle magmatic mixture interaction and mixed fluid mineralizing process derived from lithospheric delamination and underplating asthenosphere mantle as geodynamic mechanism.

Keywords: gold deposit; copper deposit; metallogenic systems; geodynamics; karamaili; eastern Junggar