1000-0569/2008/024(12)-2679-00 *Acta Petrologica Sinica* 岩石学报

哈萨克斯坦环巴尔喀什斑岩铜矿地质与成矿背景研究*

李光明 秦克章 李金祥

LI GuangMing, QIN KeZhang and LI JinXiang

中国科学院矿产资源研究重点实验室,中国科学院地质与地球物理研究所,北京 100029

Key Laboratory of Mineral Resources, Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, *China*

2008-06-20 收稿,2008-09-08 改回.

Li GM, Qin KZ and Li JX. 2008. Geological features and tectonic setting of porphyry copper deposits rounding the Balkhash region, Central Kazakhstan, Central Asia. *Acta Petrologica Sinica*, 24(12): 2679 – 2700

Abstract Central Kazakhstan located in the center of the Central Asia Orogenic Belt (CAOB), is one of the largest porphyry copper deposit metallogenic domains, wherein hosts tens of large and superlarge ore deposits. In the area, three major subtypes of porphyry copper deposits have been recognized: porphyry Cu-Au deposits, porphyry Cu deposits and porphyry Cu-Mo deposits, mostly associated with contemporaneous volcanic rocks. Established alteration zonation consists of alkaline and acidic alterations. $\delta^{34}S_{(CDT)}$ values of sulfides from porphyry copper deposits range from −7.1‰ to 4.2‰, showing a deep source. Pb isotope analyses reveal that ore-forming materials were generated from lower crust and upper mantle. In the central Kazakhstan multistage tectonic evolutions were followed by formation of multistage porphyry copper deposits. Early Paleozoic porphyry copper deposits have been formed during early stages of island arcs evolution, but late Paleozoic porphyry copper deposits are confined in the Devonian volcano-plutonic belts, and then Carboniferous-Permian volcano-plutonic belts. From northwest to southeast towards the central Kazakhstan, ore-forming ages of porphyry copper deposits are successively younger. Whereas study on porphyry copper deposits in the region throughout tens years, some key problems yet remain uncertain, e. g. high-precise age-dating on intrusive stocks and mineralizations for the major porphyry copper deposits, temparol-spatial distribution framwork and geodynamic settings. The linkage and comprehensive correlation between Balkhash porphyry copper belt and adjacent Chinese western Jungar and western Tienshan is of great significance for further exploration.

Key words Porphyry copper deposits; Geological features; Geodynamics; Balkhash; Central Kazakhstan; Central Asia

摘 要 中哈萨克斯坦位于中亚造山带中部,是中亚型造山带及中亚斑岩铜矿成矿域的重要组成部分,已发现数十个大型和超大型矿床,成群成带分布。主要的斑岩铜矿类型有斑岩铜-金矿、斑岩铜矿、斑岩铜钼矿,大多具同期火山岩。已建立的热液蚀变分带模式具有碱性蚀变和酸性蚀变两个阶段,已有的硫铅同位素数据表明成矿物质来源于深部。该地区的斑岩铜矿形成与多阶段构造演化有关,早古生代的斑岩铜矿与岛弧演化的早阶段有关,而晚古生代的斑岩铜矿与泥盆纪火山—岩浆弧、石炭纪—二叠纪的火山—岩浆弧有关。从中哈萨克斯坦的北西向南东方向,斑岩铜矿的形成时代逐渐变年轻。虽然经过数十年的研究,但该地区的有关斑岩铜矿的精细时空结构仍未建立。因此,含矿斑岩体与蚀变矿化年龄的精确测定、区域成矿地球动力学背景及其演化、斑岩铜矿的精细时空结构、与中国邻区的构造—岩浆—成矿带的连接对比将是以后的研究方向。

关键词 斑岩铜矿;地质特征;成矿背景;巴尔喀什;中哈萨克斯坦;中亚

中图法分类号 P618.41

---

* 本文受国家科技支撑计划重点项目(2006BAB07B08)和中国科学院知识创新方向项目(KZCX2-YW-107)资助.

第一作者简介:李光明,男,1964 年生,博士,副研究员,主要从事金属矿床成矿作用及成矿预测研究,E-mail: liguangming0505@yahoo.com.cn

中亚造山带具有复杂的内部结构,以周期性的增生楔和弧岩浆为主,并散布古陆块和洋壳的残片(Heinhorst *et al.*, 2000;Zhu and Ogasawara, 2002; Zhu *et al.*, 2005; Windly *et al.*,2007;朱永峰和徐新,2006,2007)。针对中亚造山带的成因和演化提出了许多模式:古亚洲洋形成许多岛弧并增生到西伯利亚和波罗的海边缘上(Zonenshain *et al.*, 1990; Mossakovsky *et al.*, 1993; Fedorovsky *et al.*, 1995; Buslov *et al.* 2001, 2004; Filippova *et al.* 2001; Khain *et al.* 2003); Kipchak 单弧模式(Sengor *et al.*, 1993);修改的 Kipchak 弧模式(Yakubchuk *et al.*,2001, 2005; Yakubchuk, 2002, 2004)。学术界和矿业界关注的中亚成矿域与中亚造山带在地理上基本重合。中亚成矿域因其巨量的金属和非金属矿产而闻名于世,成矿作用及其复杂多样(何国琦和朱永峰,2007;朱永峰等,2007)。中哈萨克斯坦(图 1)是中亚成矿域中最复杂的地区之一,是理解整个中亚成矿域形成和演化历史的关键地区。在中哈萨克斯坦斑岩铜矿、金矿、多金属矿及稀有金属矿床广泛分布,是该地区构造演化的明显标志(Shatov *et al.*,1996;秦克章等,1999;Seltman and Porter, 2005;朱永峰等,2007)。该地区地质演化历史复杂,古生代以来多阶段构造演化,形成了世界级斑岩铜矿、金矿和银多金属矿床,吸引了众多地质学家对该地区进行了多方面的研究,积累了丰富的地质矿产资料。同时,中哈萨克斯坦还是研究花岗岩与成矿关系的天然实验室,地质过程的复杂性和多样性,为进一步研究地质构造、岩浆演化和成矿机制提供了可能性。本文在收集整理大量前人研究成果的基础上,仅对中哈萨克斯坦斑岩铜矿的成矿背景、基本特征、典型矿床进行系统总结,并提出研究展望。目的在于加强中国和哈萨克斯坦环巴尔喀什—准噶尔斑岩铜矿的地质矿产对比研究,为新疆进一步找矿勘查及资源潜力评价提供借鉴。

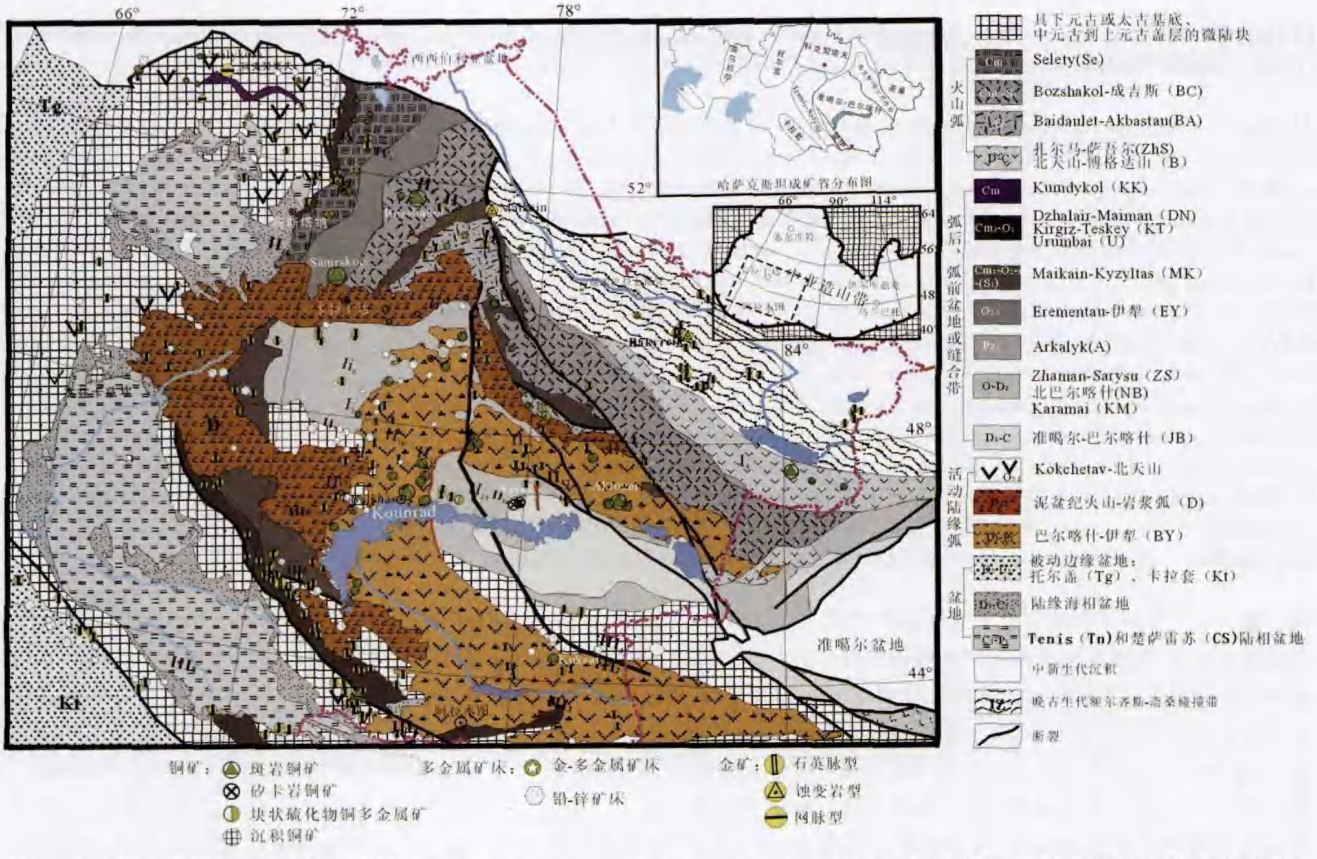


图 1 中哈萨克斯坦地质略图和矿产分布(据 Windly *et al.*,2007;Abdulin *et al.*,1996;哈矿产资源与能源部 2006 年资料修编)

成矿分带: Ⅰ$_4$-萨尔萨赞-北萨吾尔; Ⅱ$_1$-阿克巴斯套-库什穆弄; Ⅱ$_2$-巴雅纳吾尔; Ⅱ$_3$-肯杜克特; Ⅱ$_4$-波兹莎科尔; Ⅱ$_5$-斯巴斯克; Ⅱ$_6$-乌斯品; Ⅱ$_7$-阿克扎尔-阿克索朗; Ⅱ$_8$-阿克巴斯套; Ⅱ$_9$-乌拉拜; Ⅱ$_{10}$-托克奈; Ⅱ$_{11}$-科迪拉桑-北萨亚克; Ⅱ$_{12}$-喀尔玛克枚尔; Ⅱ$_{13}$-成吉斯; Ⅱ$_{14}$-萨亚克; Ⅱ$_{15}$-依特穆隆-图尔库拉姆; Ⅱ$_{17}$-卡拉塔斯-克孜勒斯巴; Ⅱ$_{18}$-斋伊尔玛-卡拉干达; Ⅲ-1 捷克利; Ⅲ-2-阿尔特勒枚尔; Ⅲ-3-伊犁; Ⅲ-4-察特尔库; Ⅲ-5-萨尼图玛; Ⅲ-6-萨尼莎干; Ⅲ-8-玛里-卡拉套; Ⅳ-1-塞勒特; Ⅳ-2-阿克苏

Fig. 1 Map of regional geology and ore deposits distribution of the Central Kazakhstan (Modified from Windly *et al.*, 2007; Abdulin *et al.*, 1996; Data of Ministry of power and mineral resources of Kazakhstan, 2006)

Metallogenic zonations: Ⅰ$_4$-Sarsazan-North-Saur; Ⅱ$_1$-Akbastau-Kusmurun; Ⅱ$_2$-Bayanaul; Ⅱ$_3$-Kendukty; Ⅱ$_4$-Bozshakol; Ⅱ$_5$-Spassk; Ⅱ$_6$-Uspenka; Ⅱ$_7$-Akzhal-Aksoran; Ⅱ$_8$-Akbastau; Ⅱ$_9$-Uralbai; Ⅱ$_{10}$-Tokrau; Ⅱ$_{11}$-Kotyrasan-North-Sayak; Ⅱ$_{12}$-Kalmakemel-Baknas; Ⅱ$_{13}$-Chingiz; Ⅱ$_{14}$-Sayak; Ⅱ$_{15}$-Itmurundy-Tulkulam; Ⅱ$_{17}$-Karatas-Kzylespa; Ⅱ$_{18}$-Zhaiylma-karaganda; Ⅲ-1-Tekeli; Ⅲ-2-Altynemel; Ⅲ-3-Ili; Ⅲ-4-Chatyrkol; Ⅲ-5-Sarytuma; Ⅲ-6-Saryshagan; Ⅲ-8-Malyl Karatau; Ⅳ-1-Selety; Ⅳ-2-Aksu

1 区域地质背景

环巴尔喀什—准噶尔地区位于中亚造山带中部,是中亚型造山带及中亚斑岩铜矿成矿域的重要组成部分(图1)。该地区具有其鲜明的特征:古生代完整的地层剖面、强烈发育海西构造运动、广泛出露古生代火山岩和花岗岩等。

在环巴尔喀什—准噶尔地区已建立的地层单元主要是前寒武系及显生宙地层(图1)。前寒武系下部的片岩、片麻岩、角闪岩构成结晶基底,上部由黑色岩系的碳硅泥岩、石英岩、灰岩、白云岩等组成。古生代地层的寒武、奥陶纪地层以火山成因硅质岩、陆源碎屑岩、碳酸盐岩组成。在奥陶纪上部发育陆源复理石建造、碳酸盐岩、碳酸盐岩与陆源碎屑岩互层。志留系以不间断的成分较单一的陆源碎屑沉积为特征,并由奥陶向志留逐渐过渡。泥盆系在不同的地区差异较大,在一些带中以陆源碎屑沉积为特征,间夹细碧岩、碧玉岩及其它硅质岩沉积。而在别的带上则为复理石型或磨拉石型的浅海碎屑沉积。陆上剖面以陆相火山岩和杂色砂岩为特征。下部的碳酸盐岩地层主要由浅海陆源碎屑岩、碳酸盐岩和陆相火山—沉积岩组成。而上部由流纹岩、英安岩、安山岩、安山玄武岩等火山岩组成。从中石炭开始发育陆上安山岩—英安岩—流纹岩等火山岩与凝灰岩的夹层,而同时在Sayak向斜中则为海相陆源碎屑岩、凝灰岩及碳酸盐岩。二叠系以发育组成上为玄武岩—流纹岩、碱质增加的陆相火山岩及其碎屑岩和凝灰岩为特征。中新生代的地层广泛发育,以砂岩、泥岩、含碳质沉积为特征。

侵入岩的组成和时代多样、分布较广、其中最发育的是海西期花岗岩。尽管对花岗岩进行了长期细致的研究,但以时代组合划分花岗岩仍存在较大争议。普遍接受的年龄图谱目前还没有。虽然编过许多的岩浆作用图,一些研究者只是根据围岩的年龄来限定花岗岩的年龄,除此而外,还有一些放射性同位素年龄。Popov(1996)划分了四个系列的岩浆活动:造山前的、早造山的、主造山的和晚造山的。在中哈矿化和花岗岩系列之间存在明显的稳定的空间、时间、产出及成因联系。北哈的金矿与造山前的晚奥陶的花岗岩有关。Kolesnikov(1991)划分了七个花岗岩带,时代从前寒武到三叠纪均有分布,分布大约700个岩体,同造山和造山后花岗岩在所有的带中均发育(Seryk,1996),花岗岩通常是多阶段侵位的杂岩体,硅含量的增加是其演化趋势。同造山组合为花岗闪长岩组合(包括辉长岩、闪长岩、石英闪长岩、英云闪长岩、斜长花岗岩)、淡色花岗岩组合(包括淡色花岗岩、二长花岗岩),而造山后花岗岩主要为花岗—正长岩组合(正长辉长岩、钠质二长岩、钠质钾质石英二长岩、富钠钾的花岗正长岩、正长花岗岩)及阿拉斯加岩组合。在哈北部的Bozshakol斑岩铜矿与中寒武造山前的英云闪长岩—斜长花岗岩有关,而大部分的斑岩铜矿与早造山的闪长岩—花岗闪长岩—石英二长岩系列有关。而富Mo的花岗岩可能形成较晚,如东科翁腊德Mo-W矿。

中哈萨克斯坦存在一个前寒武纪陆壳,Kokshetav及其它地块被认为是古大陆的残留(Glukhan and Serykh,1996)。在微大陆和岛弧之间的缝合带中分布有十条蛇绿岩带(Seitov,1992),时代从早寒武到中泥盆。寒武纪期间该地区发生的大陆深俯冲将大量大陆地壳物质循环到地幔深部并诱发了大规模的金刚石成矿作用(Zhu and Ogasawara,2002a, b),与含金刚石大理岩伴生的蛇绿混杂岩带被碰撞后的碱性火山岩覆盖(Zhu *et al.*, 2002;Zhu and Ogasawara,2004)。中哈萨克斯坦地区的大多数蛇绿岩带总体上由古洋壳的最上部层位—深海沉积物和火山岩组成,古洋壳的完整剖面在这些带中少见报道。最近在塔尔巴哈台山东部(我国新疆塔城地区)发现的蛇绿岩具有比较完整的剖面,从下部的尖晶石二辉橄榄岩—辉长岩到上部的玄武岩—硅质岩均出现,辉长岩中的锆石SHRIMP年龄为478.3±3.3Ma(朱永峰和徐新,2006)。在大多数情况下,这些蛇绿岩显示弧前、弧后或弧间洋壳的地球化学特征,表明没有具典型MORB地壳的主要洋盆消减(Avdeev,1984)。某些蛇绿岩赋存块状硫化物Cu-Au矿床(Yakubchuk *et al.*,2005)。早古生代—寒武和奥陶纪的岛弧位于东及北东的Chingiz和近Bozshakol带,在岛弧带上分布有斑岩Cu-Au矿。

晚奥陶世和志留纪造山事件建立了中哈萨克斯坦的主要大陆环境,新形成的泥盆纪火山—侵入岩带是一个建立在先前增生和固结地壳之上的大陆岩浆弧(Degtyarev,1999; Windley *et al.*,2007)。晚泥盆纪到早石炭,岛弧沿同期的Tokrau和Kotanemel盆地的南部边缘出现。在早中石炭世Balkhash-Ili围绕海相盆地大陆火山岩带开始发育,火山作用持续到早二叠,弧岩浆终止,增生演化完成(Zaitsev,1984; Windley *et al.*,2007)。在此过程中,由于哈萨克斯坦陆块与Baltica、西伯利亚、塔里木地块的相互作用导致中哈萨克斯坦变形形成巨型马蹄形构造(Windly *et al.*,2007)。在泥盆纪到二叠纪新形成的火山—侵入岩带中分布大量的斑岩铜矿。因此,在整个古生代历史中,存在不同时代的岛弧,依次向南东方向迁移,这个过程伴随弧前海盆的萎缩和弧后盆地的扩展(Popov,1996)。

2 中哈萨克斯坦斑岩铜矿的勘查及研究回顾

自苏维埃政权建立开始就有计划的在环巴尔喀什地区进行矿床的研究,特别是Kounrad斑岩矿床自1928年由Rusakov M. P.发现以来加大了对该地区的勘查力度,相继发现了一些矿床如Aksoranan(Yanishevsk,1931)、Sayak(Nakovnik,1931)、Tekeli(捷克利,Kolesnikov,1991)。同时,地球化学、地球物理普查评介方法广泛应用于隐伏矿预测评介,导致了一系列矿床的发现和重新评介,如Kaskerkazgan、Kenkuduk、Kepcham、Auzbak、Agtogai、Aidarl、Kezelkiya和Besshok等。特别是60年代以来,以成矿区带为中心的地

质—地球物理—成矿规律研究工作的开展,对于矿产勘查起了有力的推动和指导作用,建立了斑岩铜矿的找矿标志及其评介准则,指出斑岩铜矿进一步的找矿方向。80 年代在巴尔喀什湖的南北两侧发现了一系列的斑岩铜矿:Sayak, Borly, Karabas、Sokurk、Besshok 等。

在铜矿的研究中自 Kounrad 斑岩铜矿发现以来就优先对斑岩铜矿进行了研究。对环巴尔喀什斑岩铜矿系统的普查、勘探及研究始于二战后。出版了许多专著,对单个矿床及组合的地质、地球化学、矿物学、交代蚀变、矿化分带及蚀变分带进行了详细描述(Miroshnichenko, 1971)。Kayupov (1974)、Kolesnikov(1991)、Zhukov(1975)研究了火山—侵入岩带、岩体的环形构造、长期活动的区域断裂及中酸性花岗岩浅成侵入相与斑岩铜钼矿床的关系。Zhukov and Philimonoba(1982)建立了蚀变与矿化之间紧密的空间、成因、构造及其地球化学联系。进行了斑岩铜矿化与地壳深部构造之间的关系研究(Bekranov and Liubechky, 1975),矿田的地质—构造详细研究(Poletaev, 1983)。Liyapichev(1975)总结了斑岩铜矿的大地构造及岩石化学特征,而 Abdulin (1975)总结了哈萨克斯坦铜矿带的特征,其中包括斑岩铜矿,Kudryavtsev(1996)对哈萨克斯坦中部的斑岩铜矿特征进行了总结。在 Popov (1977)、Pavlova (1983)、Krivchov (1977)的著述中总结了斑岩铜矿的时空分布规律、形成的物理化学条件。在环巴尔喀什斑岩铜矿研究中积累的大量实际资料推动了对该类矿床的成因理论总结,获得了各种斑岩铜矿形成的地质—成因模式(Kolesnikov, 1991; Krivchov, 1986; Zhukov, 1983; Pavlova, 1983; Sotnikov, 1983; Golovanov, 1978),根据矿物类型、构造位置、与岩浆作用的关系、形成深度、构造体制建立了斑岩铜矿成矿体系(Kolesnikov, 1991; Zhukov, 1983; Krivchov, 1983; Popov, 1996; Rekharsky, 1983; Sotnikov, 1983)。

3 斑岩铜矿分布及主要类型

3.1 区域矿床分布

在研究区,划分了 7 个成矿省,其中有 8 个斑岩铜矿集中区或成矿带,主要分布于萨吾尔山、环巴尔喀什、北哈州(图 1),主要斑岩铜矿的基本特征总结于表 1 中。

(1)斋桑成矿省有萨吾尔斑岩成矿带,代表性矿产如 Kyzylkiya Cu 矿等。

(2)成吉斯—塔尔巴哈台成矿省的 Akbastau—Kusmurun 带:代表性矿产如 Nurbai Cu 矿、Zapadnoye Cu 矿、Berkara Cu 矿等;Bozshakal 带:代表矿床 Bozshakal Cu-Mo 矿等;

(3)准噶尔—巴尔喀什成矿省的 Spassk 带:代表性矿床如 Samarsk、Khodzhixogan Cu-Au 矿等;Uspenka 带中的代表性矿产如 Ozyornoye Cu-Au 矿等;Akbstau 带中的代表性矿产如 Baiskoye Cu-Au 矿等;Kokyrasan-Nort-Sayak 带中的代表性矿床如 Kounrad Cu-Mo 矿、Aktogai Cu 矿、E Kounrad Mo 矿等;Itmurundy-Tulkulam 带:Sayak Cu-Mo 矿等;Karatas 带中代表性矿床如 Karats Cu 矿等;Altynemel 带中代表性矿床如 Koksai Cu-Mo 矿等;

(4)楚伊成矿省中的 Saryshagan 带:代表性矿床如 Saryshagan Cu-Au 矿、Vostok Cu-Au 矿等;Chatyrkol 斑岩成矿带中的代表性矿床如 Kurdan 斑岩铜矿。

(5)科克契塔夫成矿省中 Selety 带中的代表性矿床如 Kuzyltu Cu-Au 矿;Aksu 带中的代表性矿床如 Mongol 4 Cu 矿。

3.2 矿床类型

按成矿组合划分,研究区斑岩型铜矿类型有:(1)斑岩铜金矿床:萨马尔斯克矿床;(2)斑岩铜矿:科翁腊德矿床;(3)斑岩钼矿:科翁腊德东矿床;(4)斑岩铜—钼矿:阿克托盖依矿床。

如果按斑岩铜矿形成深度来划分,哈萨克斯坦的斑岩铜矿主要有:火山岩斑岩铜矿和经典斑岩铜矿,前者与同期火山岩相伴,浅成低温金-银矿床与之伴生,为 Cu-Au 组合,而后者主要为 Cu-Mo 组合,无同期火山岩和浅成低温金矿,但有矽卡岩铜矿与之伴生。

4 典型斑岩铜矿特征

4.1 Osennee 斑岩铜矿

位于 Kokshetav 州 Valikhanovsk 县境内、Kokshetav 市北西 200km 处。该矿于 1963 年在进行普查找矿中发现。矿床内地层由下古生代的火山—沉积地层组成,晚奥陶的 Krykkuduk 组合的花岗岩类侵入上述地层中(图 2)。中上寒武的 aksui 组主要由辉绿玢岩、杏仁状细碧岩、辉石—辉石斜长石玢岩夹粉砂岩、泥岩、碧玉岩构成。中下奥陶统的 Ushtagan 组分为含凝灰质沉积岩、中性组成的熔岩和角砾凝灰岩)、中性、少量基性组成的凝灰岩、凝灰质粉砂岩。在矿床的西部出露复成分粉砂岩和长石砂岩、中奥陶的 Sag 组中性火山岩。Krykkuduk 组合的侵入岩由走向北东、长 4km 宽 0.2km ~ 2km 的两相岩体组成,第一相是石英闪长岩、第二相是花岗闪长岩和斜长花岗岩。另外还有厚 1m ~ 2m 的细粒辉绿岩脉、斜长花岗斑岩脉、霏细岩。

所有的普查钻孔均在弱黄铁绢晶岩化和青磐岩化花岗闪长斑岩中见到了细脉—浸染状硫化物。硫化物和石英—硫化物细脉厚约 1mm 到 2cm ~ 3cm。在 1m 岩心中含脉率 1 ~ 2到 10 甚至更多。细脉由石英、黄铁矿、黄铜矿组成,其中少见辉钼矿和赤铁矿。细脉之间分布浸染状的黄铜矿和黄铁矿,主要赋存于暗色的花岗闪长斑岩中。矿石中铜的含量达 1.3%,而钼的含量变化于千分之几到百分之几之间。矿石中含 Ag(到 30g/t)、Au(到 0.6g/t)和 Bi。次生富集带不发育。

表 1　环巴尔喀什斑岩铜矿基本特征*

Table 1　Basic characteristics of porphyry copper deposits in the Balkahsh region, Central Kazakhstan

矿床	Osnennee	MongolV	Bozshakol	Samarsk	Koktaszhal	Ozior	Kounrad	Aktogai	Koksai	Vostok5	Nurbai	Kyzylkain
位置	科克契达夫南东 200km	Aksu 镇北东 60km	Bozshakol 火车站北 14km	Temirtau 北 10km	Egindybulak 北西 30km	Karagaily 村北东 20km	巴尔喀什市北 15km	Agtogai 火车站东 22km	塔什库尔干南南东 60km	巴尔喀什湖南岸	阿雅库什西 100km	斋桑湖南约 15km
成矿带	科克契塔夫成矿省 Selety 带	科克契塔夫成矿省 Aksu 带	成吉斯—塔尔巴哈台成矿省 Bozshakal 带	准噶尔—巴尔喀什成矿省的 Spassk 带	准噶尔—巴尔喀什成矿省的 Spassk 带	准噶尔—巴尔喀什成矿省 Uspenka 带	准噶尔—巴尔喀什成矿省 Kokyrasan—Nort—Sayak 带	准噶尔—巴尔喀什成矿省 Kokyrasan—Nort—Sayak 带	准噶尔—巴尔喀什成矿省 Altynemel 带	楚伊成矿省 Saryshagan 带	成吉斯—塔尔巴哈台成矿省 Akbastau—Kusmurun 带	斋桑成矿省有萨吾尔斑岩成矿带
构造背景	岛弧	岛弧	岛弧	火山—侵入岩带	火山—侵入岩带	火山—侵入岩带	火山—侵入岩带	火山—侵入岩带	火山—侵入岩带	火山—侵入岩带	火山—侵入岩带	岛弧
含矿岩石	石英闪长岩、花岗闪长斑岩	石英闪长玢岩	花岗闪长斑岩	花岗闪长斑岩	斜长花岗斑岩岩、花岗闪长斑岩	闪长玢岩花岗闪长斑岩	花岗闪长斑岩、斜长花岗斑岩	花岗闪长斑岩、斜长花岗斑岩、花岗斑岩	花岗闪长斑岩、斜长花岗斑岩	花岗闪长斑岩	二长斑岩	花岗闪长斑岩、闪长玢岩
时代	晚奥陶	晚奥陶	寒武纪				早石炭世	350 ~ 280Ma?				中石炭世(340Ma)
成矿组合	Cu-Au	Cu-Mo	Cu-Mo-Au	Cu-Au	Cu-Au	Cu	Cu	Cu-Mo	Cu	Cu-Au-Mo	Cu-Mo	Cu
地质建造	下古生代火山—沉积建造	安山岩、角砾岩、凝灰岩,少量英安岩	下寒武的安山玢岩、安山—玄武玢岩及凝灰岩,中寒武的火山—沉积岩	火山岩	安山—玄武玢岩及凝灰岩间夹流纹岩、英安岩、流纹—英安岩、硅质凝灰岩、粉砂岩、泥岩、灰岩等	花岗岩	粉砂岩—泥岩间夹酸性组成的凝灰岩,上部不整合覆盖安山—玄武岩、安山—英安岩	火山—沉积岩	灰岩间夹砾岩,上部被英安质流纹质熔岩和凝灰岩不整合覆盖	火山—沉积岩	玢岩、凝灰岩、凝灰质粉砂岩	火山—沉积岩
同期火山岩	中性成分凝灰岩、角砾岩	安山岩—英安岩	安山玢岩、安山—玄武玢岩				安山—英安—流纹岩	安山—英安—流纹岩	安山—英安—流纹岩	安山—英安—流纹岩		中基性火山岩
围岩时代	早奥陶—中晚寒武	奥陶纪	寒武纪	早中泥盆世	中泥盆	早-中石炭	早石炭世?	早石炭—早二叠	志留—中晚石炭	早古生代	中泥盆	早中石炭世

续表 1

Continoued Table 1

围岩时代	早奥陶—中晚寒武	奥陶纪	寒武纪	早中泥盆世	中泥盆	早－中石炭	早石炭世?	早石炭—早二叠	志留—中晚石炭	早古生代	中泥盆	早中石炭世
蚀变组合	黄铁绢英岩化、青磐岩化	电气石化、硅化、钾长石化、绿帘石化、绿泥石化、绢云母化、高岭土化	钾长石化、黑云母化、硅化绿泥石化、泥化、青磐岩化	钾长石化、黑云母化、绿泥石－绿帘石化、绢云母化、碳酸盐化高级泥化、电气石化		钾长石化、绿泥石化、绿帘石化	云英岩化、钠长石化、绢云母化硅化、明矾石化、高级泥化、	钾长石化、黑云母化、黄铁绢英岩化、硅化、青磐岩化、硬石膏化	钾长石化、钠长石化、绿泥石－绿帘石化、硅化、青磐岩化	弱钾长石化、绢云母化、绿泥石化	硅化绢云母化、弱青磐岩化	弱钾长石化、黑云母化、钠长石化、绢云母化硅化、绿泥石化、高级泥化、碳酸盐化、绿帘石化
成矿时代								315～311Ma? 290～270Ma?				
矿石矿物	Py、Cp、Mo、	Cp、Mo、Py，少量 Bn、Cc、Cv、Tt、Sph、An、Gal、Co	Cp、Py，少量 Mt、Mo、Sph	Cp、Py，少量 Tt、Mo、Sph、Au	Cp、Bn，Py、Mo、Hem、Mt	Py、Cp、Mo	Py、Cp、Mo、Cc、Mt、Tt、Gal、Sph、Hem、	Py、Cp、Mt、Mo、Bn、	Py、Cp、Mt、Mo、Bn	Py、Cp、Mt、Mo、Gal、Au	Py、Cp、Mt、Mo、Gal、Sph、Bn、Cc、Cv	Py、Cp、Mo、Cc、Cv
氧化带	无	无	5m～54m	无	20m～50m		20～50m		40m	15m～60m	30m～40m	
有用元素	Cu:1.3%；Au:0.6%	Cu:0.57%；Mo:0.09%	Cu:0.72%；Mo:0.014%	Cu：1%～3% Au：0.4～1g/t	Cu:0.76% Au:0.7～0.95g/t	Cu:0.36% Mo:0.005%	Cu:0.61% Mo:0.0035%	Cu:0.39% Mo:0.01%	Cu:0.52% Mo:0.005%	Cu：0.25～0.45% Au：达 5g/t	Cu:0.5% Mo：0.01～0.03%	Cu:0.3%～0.5%
伴生组分	Ag:30g/t Mo	W：0.005%～0.075% Ag:7g/t Au:0.02～0.31g/t	Au:0.28g/t Ag:9.26g/t Bi、Pt、Pd、Co(0.005%)、Se(3.82g/t)、Te(0.26g/t) Pb、Zn、Ga、Sb、As、Re(0.001g/t)	Mo:0.0036%	Ag:3.3g/t	Bi0.003%；Ag:2.9g/t Au0.02g/t	Pb、Zn、Re、Ta、Ga、Se、Ag、Au、Sb、Te、In、Bi、Co、Ni、W	Re177～2040g/t Se:1.8g/t Au:0.007～0.4g/t Ag:1.8g/t Pt：0.05%(黄铁矿中) Os:0.018～0.036g/t(黄铁矿中)	Au:0.12g/t Ag:1.24g/t Re:0.055g/t Se:3.5g/t Te:1.1g/t	Mo:0.001%～0.02% Ag:16g/t	Pb0.001%～0.15% Zn0.01% Au	
储量	未控制	小型	大型	大型	小型	中型	超大型	超大型	大型	小型	小型	大型

* 据 Zhukov *et al.*，1997 资料总结，Py-黄铁矿，Cp-黄铜矿，Mo-辉钼矿，Bn-斑铜矿，Cc-辉铜矿，Cv-铜兰，Tt-砷黝铜矿，Sph-闪锌矿，An-白铁矿，Gal-方铅矿，Co-辉钴矿，Hem-赤铁矿，Mt-磁铁矿，Au-自然金

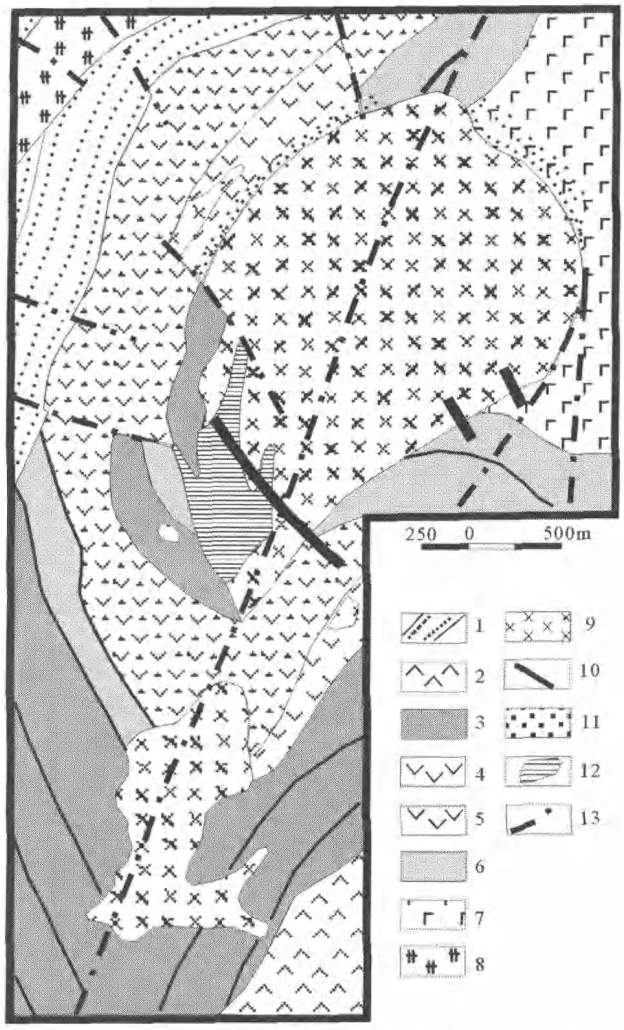


图2 Osennee 斑岩铜矿平面地质图(引自 Zhukov *et al.*, 1997 简化)

1 和 2:中奥陶 Sags 组火山—沉积岩地层:1-以多碎屑砂岩为主,少量粉砂岩、凝灰岩及玢岩;2-英安斑岩、角砾凝灰岩、凝灰质砂岩;3~6:中下奥陶 Ushtagan 组火山—沉积地层:3-中性成分、少量基性成分的凝灰岩;4-安山玢岩;5-安山质角砾凝灰岩;6-粉砂岩、凝灰质砂岩;7-中上寒武的 Aksu 组火山岩;8-上奥陶闪长玢岩;9-上奥陶 Krekkuduk 组合的石英闪长岩和花岗闪长岩;10-基性和酸性组成的脉岩;11-角岩;12-铜的原生晕强度分布 0.1%~1%或更高;13-断裂

Fig. 2 Geological map of the Osennee porphyry copper deposit (simplified from Zhukov *et al.*, 1997)

1-2: Volcano-sedimentary rocks of Middle Ordovician Sags formation: 1-mainly polyclastic sandstone, a few siltstone, tuff and porphyrite; 2-dacitic porphyry, breccia tuff, tuffaceous siltstone; 3~6: Volcano-sedimentary rocks of Middle Ordovician Ushtagan formation: 3-Intermediate and basic tuff; 4-andesitic porphyryrite; 5-andesitic breccia tuff; 6-siltstone, tuffaceous sandstone; 7-volcanics of Middle and upper Cambrian Aksu formation; 8-late Ordovician diorite porphyryrite; 9-quartz diorite and granodiorite of late Ordovician Krekkuduk complex; 10- Basic and felsic dikes; 11-hornfels; 12-Cu grade(0.1%~1%); 13-fault

4.2 Bozshakol 斑岩铜矿

位于 Bozshakol 斑岩铜矿位于 Pavlador 州的 Ekibastyz 县境内、Pavlador—Akmol 铁路线的 Ekibastyz 车站北 14km 处,到矿区有铁路支线相连。该矿床由 Borukaev R. A. 发现。矿床已完成勘探工作,储量达大型规模。

矿区位于 Erementau—Bozshakol 构造带、赋存于近东西向的 Bozshakol 背斜中。背斜核部出露岩石为下寒武统 Zhangabul 组的安山玢岩、安山—玄武玢岩及同成分的凝灰岩(图 3a)。该地层被中寒武统的 Agyrek 组火山—沉积岩整合覆盖,并被寒武纪辉长岩—斜长花岗岩组合的侵入岩—闪长岩、石英闪长岩、花岗闪长岩(第一相)、斑状花岗闪长岩和更晚的花岗闪长斑岩(第二侵入相)穿插。中下寒武统地层及侵入其中的侵入岩被上寒武—下奥陶统 Tortkuduk 组粉砂岩、泥岩间夹钙质粉砂岩、灰岩不整合覆盖,上寒武—下奥陶统地层被上奥陶统的砾岩、粉砂岩、泥质粉砂岩夹灰岩透镜体覆盖。最年轻的显生宙岩石是志留纪组合的闪长玢岩和辉长—闪长岩。寒武纪火山岩遭受绿片岩相变质。

横向南部和北部断裂限制了矿床的南北边界,纵向断裂把矿区分为数个矿段:东矿段、中矿段、西矿段及更西矿段。在东矿段和中矿段可以分出巨砾角砾岩体(直径达数米),其中,寒武纪喷出岩和侵入岩的角砾被同成分的碎屑物质胶结。角砾岩体具有近垂直的产状,推测是热液中心。在西矿段发现爆发角砾岩,胶结物是花岗闪长斑岩,而角砾是中基性火山岩。

矿区范围内,花岗闪长斑岩的侵位均伴有接触变质晕,表现为角岩化。矿床可以分为五个矿体,主矿体位于中矿段,其形态复杂。其上部边界近水平,而下部工业矿体具形态复杂(图 3b)。分布在中矿段南部的南矿体由缓倾斜的较富混合矿石组成,可以看作古老的硫化物次生富集带。东矿体、西矿体和更西矿体赋存于同名矿段中。主矿体大小:走向长 2900m、倾斜延伸 41m~650m、厚度 3m~285m。南矿体长 425m、倾斜延伸 120m、厚度 6m~33m。东矿体长 1200m、延伸 10m~300m、厚 25m~30m。其他矿体只具有贫矿化,规模较小。矿化为铜—钼组合。铜平均含量 0.72%, Mo 0.014%。在铜精矿中有 Au(0.28g/t)、Ag(9.26)、Bi、Pd、Pt、Co(0.005%)、Se(3.82g/t)、Te(0.26g/t)、Pb、Zn、Ga、Sb、As、Re(0.001g/t)。

氧化带的发育深度为 5m~54m。氧化带主要由含硅孔雀石、氯铜矿、孔雀石、蓝铜矿、水胆矾、赤铜矿、黑铜矿、自然铜和含铜的粘土矿物组成。次生氧化富集带较弱,只是南矿体例外,在该矿体中推测有寒武纪的次生氧化富集带存在。

矿石构造为浸染状、细脉—浸染状,少见角砾状。主要的原生矿物是黄铁矿、黄铜矿,其次为磁铁矿、辉钼矿、闪锌矿,偶见方铅矿、白铁矿、斑铜矿、赤铁矿、黝铜矿、磁黄铁矿、方黄铜矿、辉铋矿、硫钴矿。划分出三个矿化—蚀变阶段:1)碱性阶段(赤铁矿—石英、黑云母—磁铁矿、绿帘石—石英—

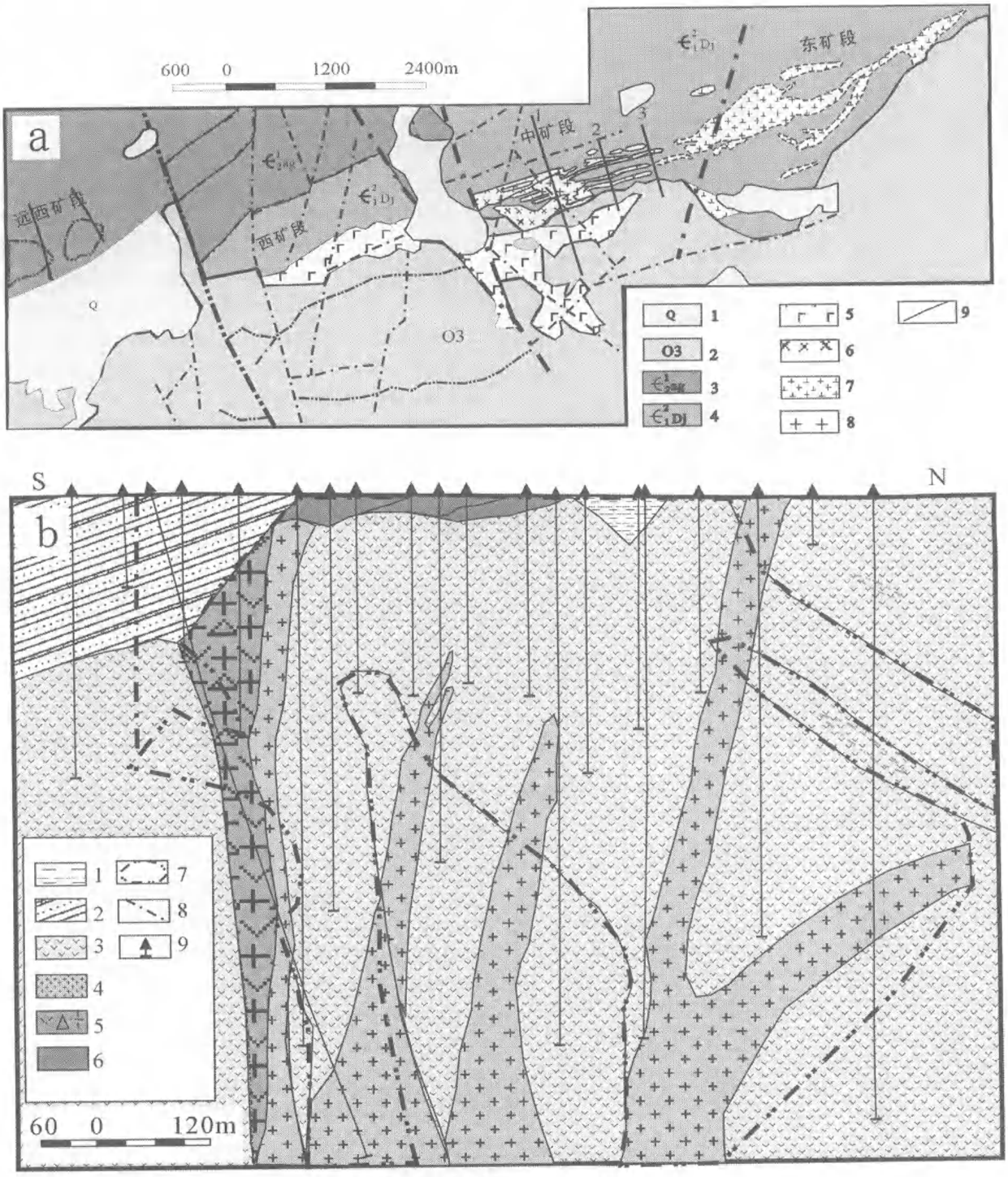


图3 Bozshakol 矿区地质图(a)和矿床剖面图(b)(引自 Zhukov *et al.*, 1997)

a: 1-第四系沙砾岩;2-上奥陶统的粉砂岩、泥质砂岩、泥岩、砾岩及透镜状灰岩;3-中寒武统的阿格勒克斯组的粉砂岩、中基性凝灰岩、层状和透镜状凝灰质粉砂岩、基性组成的熔岩和凝灰岩、玄武岩;4-下寒武统江嘎布尔斯克组的玄武玢岩、安山玢岩、火山质粉砂岩;5-辉长-辉绿岩;6-闪长玢岩;7-花岗斑岩;8-斜长花岗斑岩;9-断裂构造

b: 1-风化壳;2-上奥陶统的粉砂岩、砾岩、灰岩;3-下寒武的安山玄武玢岩及其凝灰岩;4-寒武纪组合的斜长花岗斑岩;5-爆破角砾岩;6-氧化矿体; 7-细脉浸染状硫化物矿体边界;8-断裂;9-钻孔

Fig. 3 Geological map (a) and Section (b) of Bozshakol porphyry copper deposit (from Zhukov *et al.*, 1997)

a: 1-quaternary sandstone and conglomerate; 2-upper Ordovician siltstone, argillaceous sandstone, mudstone, conglomerate and lentoid limestone; 3-siltstone, intermediate and basic tuff, stratum and lentoid tuffaouse siltstone basic lava, tuff and basalt of middle Cambrian agyreks formation; 4-basaltic porphyrite, andesitic porphyrite and volcanic siltstone of lower Cambrian zhagabulsk formation; 5-gabro-diabase; 6-diorite porphyrite; 7-granoporphyry; 8-plagioclass granite porphyry; 9-fault

b: 1-weathered crust; 2-upper Ordovician siltstone, conglomerate and limestone; 3-lower Cambrian andesite-basaltic porphyrite and tuff; 4-Cambrian complex plagiocalss granite porphyry; 5- explosive breccia; 6-oxidted ore body; 7-boundary of disseminated and stockworks ore body; 8-fault; 9-drill

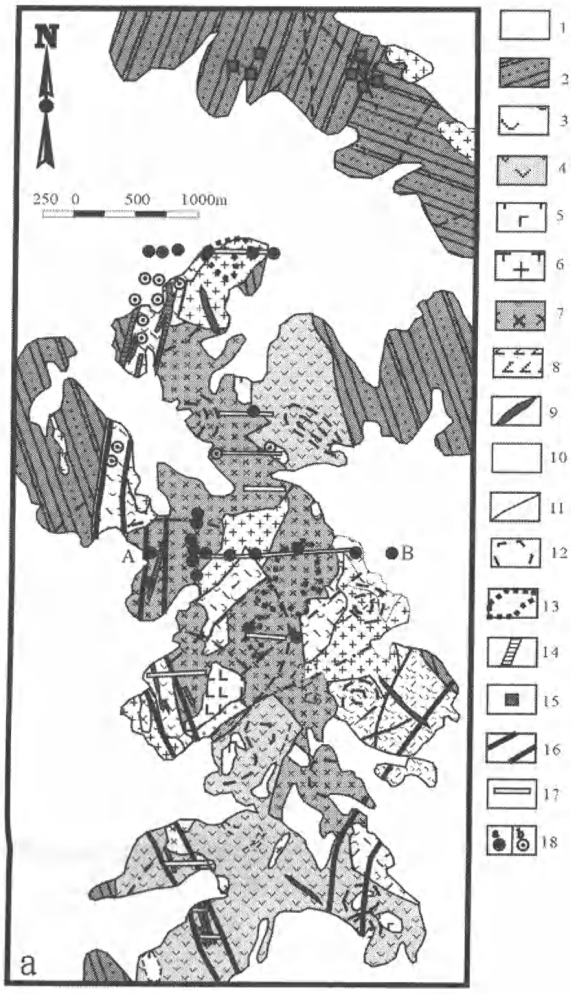
组合);2)酸性阶段(含辉钼矿的绿泥石—绢云母—石英—黄铜矿—黄铁矿组合、方解石—黄铜矿—闪锌矿及绿泥石—绢云母—黄铜矿—方铅矿组合);3)晚期碱性阶段(含黄铁矿的氟石—方解石组合)。

4.3 Samarsk 斑岩铜矿

Samarsk 斑岩铜矿位于卡拉干达州 Telmanov 县、Temirtau 城北 10km 处、距卡拉干达—Petropablovsk 铁路线的 Aktau 火车站 8km。矿床处于勘探阶段,矿体还未完全控制,大多数地段有望获得新的富矿体,特别是矿床的东部与超酸性蚀变有关的地段。现在,Cu、Mo、Au 的储量已达大型规模。

矿床位于 Spass 构造带,矿区出露下泥盆统 Zharsorsk 组的上下亚组以及中泥盆统 Konyrsk 组。Zharsorsk 组下亚组为角砾凝灰岩、熔岩、岩浆角砾岩夹凝灰岩、安山玢岩、凝灰质泥岩及层凝灰岩,Zharsorsk 组上亚组为层凝灰岩、凝灰角砾岩、凝灰岩、熔岩夹安山—玄武质凝灰质砂岩和砾岩的透镜体。Konyrsk 组为红色的凝灰质粉砂岩夹砾岩、细砾岩及少量泥岩透镜体(图 4a)。

泥盆系的岩石形成了背斜,核部由 Kokkuduktiubinsk 组合的 Tiulkulamsk 花岗岩岩体占据,该岩体具有两个相,第一



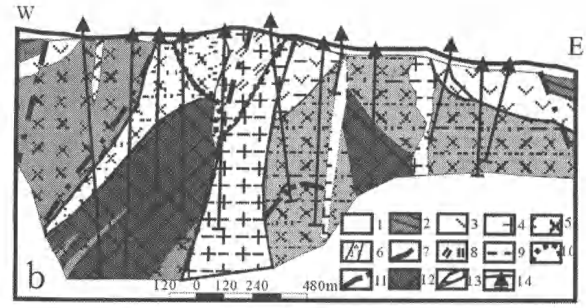


图 4 Samarsk 矿床地质图(a)和 A-B 线剖面图(b)(据 Zhukov *et al.*,1997)

a: 1-第四系;2-Konersk 组:红色粉砂岩、砾岩和泥岩;3 ~ 5:Zharsorsk 组:3-上亚组:安山-玄武质层凝灰岩、凝灰角砾岩、凝灰岩、熔岩;4-下亚组的安山—玄武质熔结凝灰岩、少量熔岩;5-安山—玄武质次火山岩体;6 ~ 9:Kokkuductiubin 组合:6-Ⅱ相具隐晶质或显微嵌晶基质的花岗闪长斑岩,局部绢云母化;7-Ⅰ相的强烈蚀变的具细晶基质的花岗闪长斑岩;8-辉绿岩、辉绿玢岩岩株;9-酸性岩脉;10 ~ 11-断裂;12-环形断裂;13-斑岩型矿化的地表露头;14-金—多金属矿体;15-铜矿化点;16-金—多金属矿化带;17-探槽;18-钻孔:(a)为评价斑岩矿化的钻孔,(b)为评价金—多金属矿化的钻孔

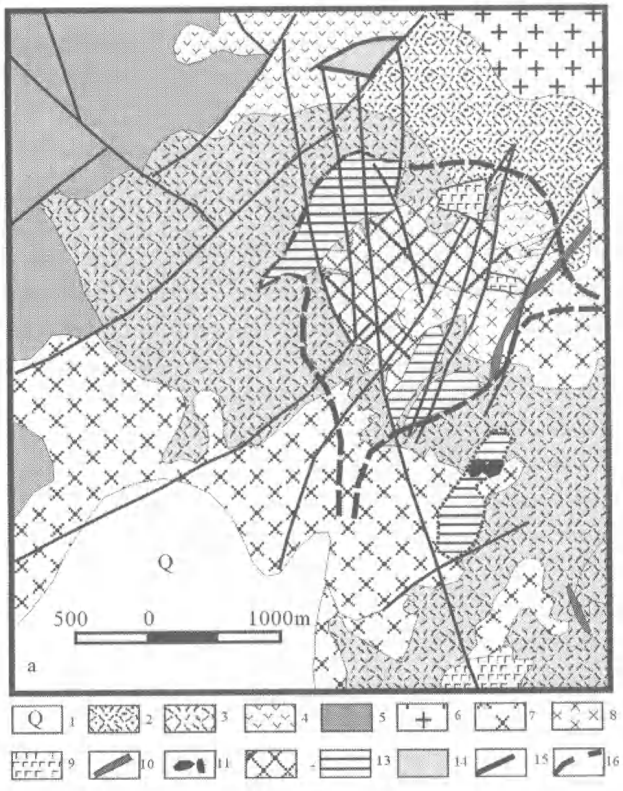
b: 1-第四系;2-Konersk 组:红色粉砂岩、砾岩和泥岩;3-Zharsorsk 组的熔结凝灰岩、安山—玄武质凝灰角砾岩、凝灰岩;4-Ⅱ相具隐晶质或显微嵌晶基质的花岗闪长斑岩;5-Ⅰ相的强烈蚀变的具细晶基质的花岗闪长斑岩;6-热液角砾岩;7-断裂;8-石英—绢云母蚀变岩;9-绿泥石—绢云母蚀变;10-蚀变分带界限;11-第一阶段中等和强蚀变的外部边界;12-矿体;13-辉绿岩脉;14-钻孔

Fig. 4 Geological map (a) and A-B Section (b) of Samaesk porphyry Cu-Au deposit (from Zhukov *et al.*, 1997)

a: Í-quaternary; 2-Konersk formation: red siltstone, conglomerate and mudstone; 3-5: Zharsorsk formation: 3-upper subgroup andesite-basaltic tuffite, tuffaouse breccia, tuff and lava; 4-lower subgroup andesite-basaltic ignimbrite and little lava; 5-andesite-basaltic subvolcanics; 6-9: Kokkuductiubin complex: 6-Ⅱ phase granodiorite porphyry with cryptocrystalline and micropoikititic texture and partly sericitization; 7-Ⅰ phase intensively alterated grandiorite porphyry with aplitic texture; 8-diabse and diabse porphyrite dike; 9-felsic dike; 10 ~ 11-fault; 12-ring fault; 13-outcrop of porphyry copper mineralization; 14-gold and polymetallic ore body; 15-occurences of copper mineralization; 16-gold and polymetallic mineralizated zone; 17-?? b: 1-quaternary; 2-2-Konersk formation: red siltstone, conglomerate and mudstone; 3-Zharsorsk formation ignimbrite, andesite-basaltic tuffaouse breccia, tuff; 4-Ⅱ phase granodiorite porphyry with cryptocrystalline and micropoikititic texture ; 5-Ⅰ phase intensively alterated grandiorite porphyry with aplitic texture; 6-hydrothermal breccia; 7-fualt; 8-quartz-sericite altered rocks; 9-chlorite and sericite alteration; 10-boundary of alteration zonation; 11-outer boundary of first phase intermediate and intensive alteration; 12-ore body; 13-diabse dike; 14-drill

相(基础相)为斜长花花岗闪长岩、花岗闪长岩及少量石英闪长岩组成,具显晶质结构到斑状结构。可分为具微晶基质的花岗闪长斑岩,大部分的铜矿化即是产于该类岩石中。第二相是具粗粒和显微嵌晶基质的花岗闪长斑岩。中矿体南部出露岩浆角砾岩体,角砾为花岗闪长斑岩,有时其中可见两个相及所有近矿蚀变的花岗岩类的角砾,角砾本身具弱绢云母化和泥化,而且角砾蚀变比基质更强。角砾岩体被同成分的凝灰岩包围。其胶结物是具流纹状的同成分隐晶基质。

矿床中有金—多金属(西矿段)、金—铜(北和中矿段)、金—钼—铜(东矿段)矿化。西矿段的金—多金属矿化产于 Zharsorsk 组中,呈不连续的环带状产出,形成缓倾斜的厚 1 到数十米的矿体,金、银品位达数十克吨。矿体在走向上和倾向上均未控制。而在东部矿化产于 Tiulkulamsk 侵入体中。中矿段的金—铜矿化产于第二相花岗闪长斑岩外接触带的沿第一相花岗闪长斑岩的爆发角砾岩体中。整体上,矿体具有岩株状形态,但在其中可分透镜状富矿体(铜 1% ~ 3%甚至更高、金 0.4 ~ 1g/t)和贫矿体。矿体顶部已开采到 80m 深,而矿化向深部延深大于 1000m,主要部分分布在深度大于 300m(图 4b)。富矿体的范围约 600m × 600m。北矿段发育贫矿体(0.26% Cu、0.0036% Mo、0.29g/t Au、1.54g/tAg)。东矿段赋存东侵入体内,矿化发育在第一相的花岗闪长斑岩中和 Zharsorsk 组的火山岩中。东西向矿化长大于 600m,在走向上和倾向上均未封闭。与其他矿体的最大差别在于 Mo 的品位增加。所有矿段的矿石矿物组成都相同,只是数量上的差别。基本的矿物是黄铜矿、黄铁矿;其次有黝铜矿、辉钼矿;少量闪锌矿、方铅矿、自然金、斑铜矿、辉铜矿、



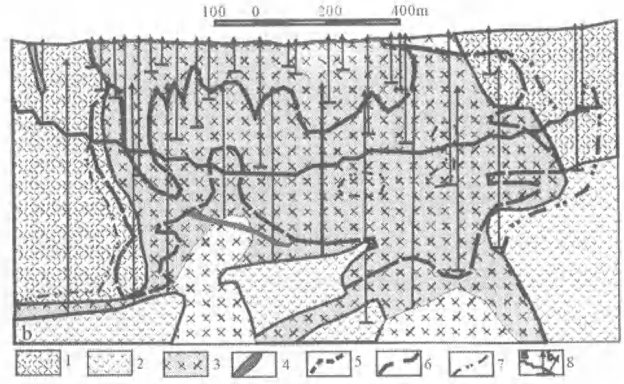


图 5 Kounrad 斑岩铜矿地质图(a)和地质剖面图(b)(from Zhukov *et al.*, 1997)

a: 1-第四系; 2-Karkaralin 组的流纹岩、流纹-英安质凝灰岩;3-流纹质流纹状球状熔岩、角砾岩;4-安山岩、安山-玄武岩、安山-英安岩及其凝灰岩;5-法门期粉砂岩、砾岩沉积;6-Akchataus 组合的淡色花岗岩;7-晚期相的花岗闪长斑岩;8-基本相的花岗闪长岩;9-第一相的辉长闪长岩;10-闪长岩和辉绿岩玢岩脉;11-爆发相角砾岩;12-具铜矿化的泥化花岗闪长斑岩;13-含红柱石次生石英岩;14-绢云母化、高岭土化、绢云母化次生石英岩;15-断裂;16-露天采坑界线

b: 1-Karkaralin 组硅化酸性喷发相火山岩;2-Karkaralin 组角岩化安山辉绿玢岩及其凝灰岩、粉砂岩、砾岩;3-泥化花岗斑岩;4-闪长玢岩脉;5-氧化及次生富集带;6-氧化和原生混合带;7-原生浸染状矿石;8-露天采坑界线(a)和钻孔(b)

Fig. 5 Geological map (a) and Section (b) of Kounrad porphyry copper deposit (from Zhukov *et al.*, 1997)

a: 1-quaternary; 2-Karkaralin formation ryolite, ryolite-dacitic tuff, 3-ryolitic fluidized spherical lava; 4-andesite, andesite-basalt, andesite-dacite and tuff; 5-Famennian siltstone, conglomerate; 6-Akchataus leucocratic granites complex; 7-late phase granodiorite porphyry; 8-main phase granodiorite; 9-first phase gabbro-diorite; 10-diorite and diabase porphyrite; 11- explosive breccia; 12-phyllic granodiorite porphyry with copper mineralization; 13- andalusite-bearing secondary quartzite; 14- sericitization, kaolinization and sericitization quartzite; 15-fault; 16-outline of open pit

b: 1-Karkaralin formation felsic eruptive volcanics; 2-Karkaralin formation hornfelsization andesito-diabase porphyrite, tuff, siltstone and conglomerate; 3-phyllic granite porphyry; 4-diorite porphyrite dyke; 5-oxidated and zone of secondary enrichment; 7-primary disseminated ore; 8-boundary of open pit(a) and drill(b)

汞银矿、辉铋矿。闪锌矿主要分布在西矿段,而辉钼矿主要分布在东矿段。

围岩蚀变是钾长石化、黑云母化、绿泥石—绿帘石化(碱性阶段),绢云母化、绿泥石化、碳酸盐化(酸性阶段),富矿化赋存在两个蚀变阶段相互叠加的地段。在矿段的南东部分布有明矾石次生石英岩和高级泥化(超酸性阶段)。与破碎带有关的电气石化,破碎带的角砾被电气石化胶结物

胶结。

4.4 Kounrad 斑岩铜钼矿床

Kounrad 斑岩铜钼矿床位于杰兹卡兹干州近巴尔喀什湖地区、巴尔喀什市 15km 处,由 Rusakov M. P. 于 1928 年发现。1930 年完成勘探工作,随后转入开发。铜金属量达到超大型规模。

矿区内出露粉砂岩—泥岩建造夹法门期酸性凝灰岩(图 5a, b)。其上不整合覆盖 Karkaralinsk 组的安山玄武岩及安山英安岩。广泛发育侵入岩,主要是 Akchatau 组合的具稀有金属矿化(W、Mo 等)的淡色花岗岩、Toktay 侵入杂岩体的花岗岩类。第一相是辉长闪长玢岩、构成不大的岩株;第二相(主要的)为石英闪长岩、花岗闪长岩、斜长花岗岩、英云闪长岩及花岗岩;主要含矿的第三相是与主要相相似的组成,但具斑状结构。该组合的花岗闪长岩类的特点是 Al_2O_3 增加、组成中 Na 大于 K。在中部第三相的岩体形态近于等轴状并具有许多的岩支,而在南部,为线形到扁长的形态。爆发角砾岩与石英闪长岩岩株和花岗闪长斑岩具有紧密空间关系。同时发育闪长玢岩和辉绿玢岩脉。

含矿的花岗闪长斑岩和爆发角砾岩具有各种程度的高级泥化、绢云母化和硅化,有时见青磐岩化,同时次生石英岩发育。各种方向的断裂把矿床分为各个块体。其中环形断裂和放射状断裂的形成与火山机构有关,而其他线性构造大部分断裂为成岩成矿前断裂,控制了岩浆岩、蚀变岩和矿化的分布。

矿体为椭球状,长约 1000m、宽约 100 到 800m。矿体的上部主要由辉铜矿矿石和氧化带矿石构成,发育深度到 20m ~ -25m,最大到 60m(图 5b)。氧化带矿物是赤铁矿、褐铁矿、赤铜矿、土黑铜矿、自然铜、黄钾铁矾、孔雀石、蓝铜矿、水胆矾、胆矾、氯铜矿及硅孔雀石等。具黄铁矿、黄铜矿、斜方硫砷铜矿和块状硫砷铜矿族矿物的辉铜矿矿石到深度 200m 均有分布,硫化物次生富集带本身具有表生成因,但基本上是内生成因的(与次生石英岩和高级泥化岩的形成有关)。原生矿石在 5m ~ 70m 均可见到,并延深到 700m 甚至更深,主要由黄铁矿、黄铜矿、辉铜矿、辉钼矿、砷黝铜矿、白铁矿、黝铜矿、闪锌矿、方铅矿、辉钼矿、毒砂、磁铁矿、赤铁矿和块硫锑铜矿等组成。矿化为浸染状和细脉—浸染状。

矿床具有垂直和水平矿化分带。垂直分带表现为从上向深部:从斑铜矿—辉铜矿矿石、斑铜矿—黄铜矿矿石、然后又是斑铜矿—辉铜矿矿石、黄铜矿矿石、黄铁矿—黄铜矿矿石到磁铁矿—黄铁矿矿石。水平分带表现为:中心部分为斑铜矿—黄铜矿矿石和辉铜矿—斑铜矿矿石,而边部为黄铁矿—黄铜矿矿石和多金属矿石。Kounrad 矿床的矿石组成是综合性的。矿石中除 Cu、Mo 外(115 : 1 的关系),有 Bi、Pb、Zn、Re、Ta、Ga、Se、Ag、Au、Sb、Ge、In、As、Co、Ni、Sn。伴生组分大部分为类质同像的形式存在或形成特殊矿物。

Cu 和 Mo 的含量在较大的范围内变化,平均 0.61% 和 0.0053%。目前所开采的矿石含 Cu0.35% ~0.45%,氧化带和次生富集带目前已开采完,目前露天开采原生贫矿体。

4.5 Aktogai 斑岩铜钼矿区

Aktogai 斑岩铜钼矿区位于塔迪库尔干州的 Burliutobinsk 地区、Aktogai 火车站东 22km 处。空间上,矿区与侵入下石炭统地层 Koldarsk 岩体重合,并被石炭统—下二叠统的火山—沉积岩覆盖(图 6a)。岩体出露面积 75km^2,根据地球物理资料,深部面积达 210km^2。岩体以其组成变化较大为特征,表现为连续的逐渐过渡的岩石系列:辉长岩—辉绿岩—辉长—闪长岩—闪长岩—石英闪长岩—花岗闪长岩—花岗岩。脉岩及小侵入体是石英斑岩和英安斑岩、斜长斑岩、闪长玢岩、辉绿玢岩、斜长花岗斑岩、花岗闪长斑岩。喷发角砾岩在空间上有分布,平面上形成较大的形态奇特的角砾岩筒和爆破的侵入岩,角砾未发生位移、没有混杂或非常弱的混杂。矿区由三个斑岩铜矿 Aktogai、Aidarly、Kyzylkiya 组成。除此以外,还有一系列小型的铅锌矿点,而钻探到 300m 处穿过 3 个隐伏的网脉状矿体。Aktogai 矿田的矿床已进行了勘探,Cu、Mo、S、Au、Ag、Re、和 Se 的储量已得到储委的确认。根据金属储量,Aktogai 和 Aidarly 达大型,Kyzylkiya 为中型。

Aktogai 矿床

Aktogai 矿床产于含有主要为流纹—英安质的火山沉积岩残留体的闪长岩和花岗闪长岩中,含矿的网脉状矿体出露在古地表(图 6a)。其形态为具无矿核的倒转的椭圆形圆锥体,向下尖灭和裂开为一系列的形态相似的矿体,向深部延深大于 800m(图 6b)。水平上椭圆形切面长轴走向北西西,网脉状矿体走向长约 2500m,宽 50m ~ 830m。

相对来说,网脉状矿体的铜含量向其内部和外部边界有规律的降低。钼的分布与铜的分布相似。最富的铜和钼矿化空间上相吻合。黄铁矿含量从无矿核向与黄铁矿晕连接的外部边缘有规律的增加,在这个方向上铜矿化有规律的交替变化:从少铁或无铁的少硫化物到含铁的高硫(内生的辉铜矿和斑铜矿—黄铜矿—含铜黄铁矿)矿化。对于网脉状矿体,S/Cu 的平均比值为 2 : 1、Cu/Mo 的平均比值为 42 : 1。铅锌矿化赋存于网脉状矿体的外部。

Aidarly 矿床

Aidarly 矿床地表出露为相对弱的褐铁矿化带和闪长岩、花岗闪长岩和花岗岩中孔雀石—硅孔雀石露头。发育多期次花岗闪长斑岩、斜长花岗斑岩及细粒花岗岩脉岩、辉绿玢岩岩脉及岩体。网脉状矿体上部近似于向北东缓倾斜的椭圆形,内部具无矿核(图 6a),向深部延深大于 600m(图 6b),网脉状矿体平面上为长轴走向北西的椭圆形。多支网脉状矿体主要赋存在构造破碎带中,其中之一(Aidarly 冲断层)的网脉状矿体被抬升和向 SWW 位移 1000m 以上。

网脉状矿体的内部结构与 Aktogai 矿床类似。铜矿化强度空间上与钼矿化强度吻合,从内部的无矿核向边缘增加。与 Aktogai 的差别在于最大的矿化接近于矿体的外部边界,

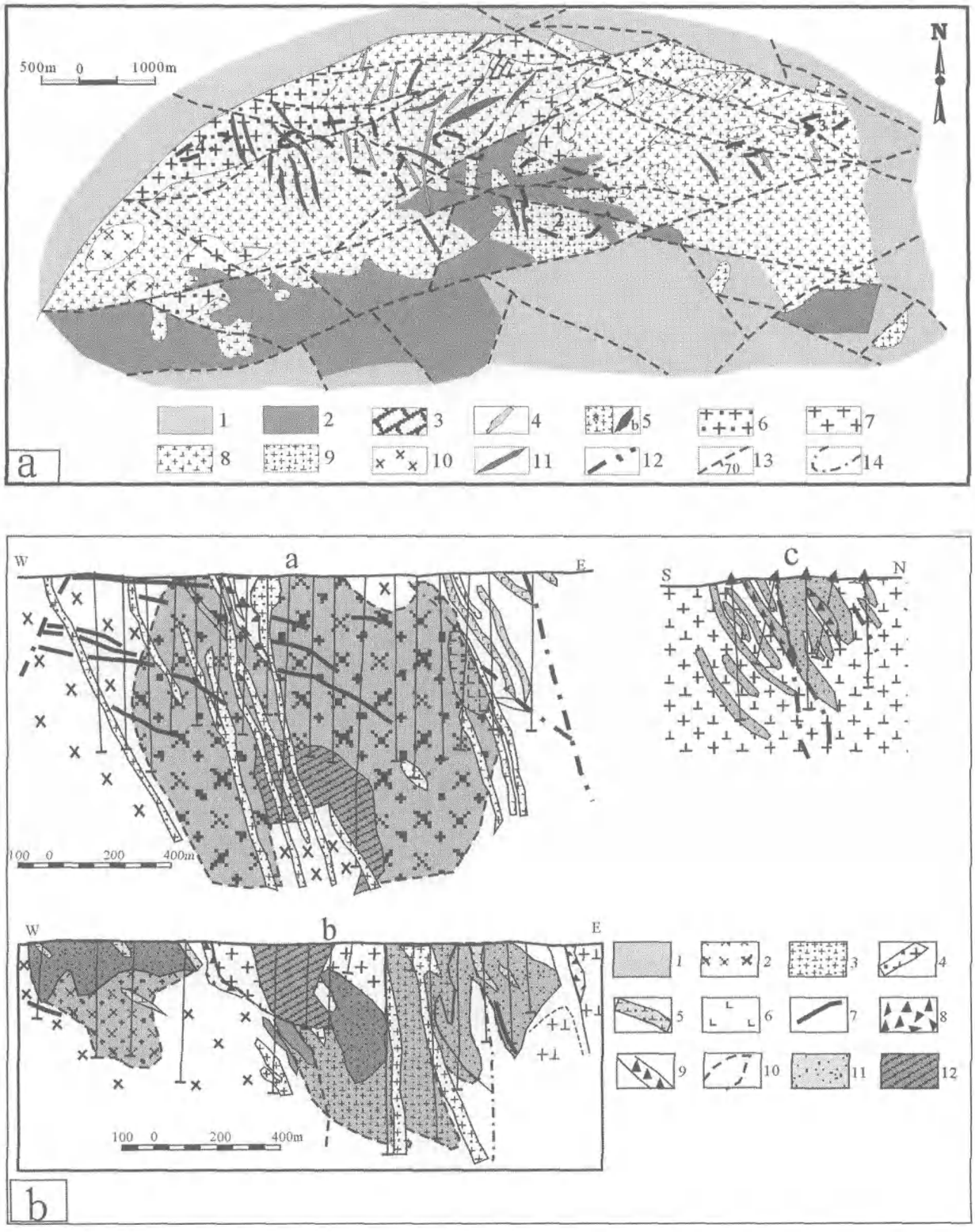


图 6 Aktogai 平面地质图(a)和矿田剖面地质图(b)(据 Zhoukov *et al.*, 1997)

a:1-上石炭—下二叠 Koldarsk 组的沉积岩、凝灰沉积岩,少见酸性凝灰岩;2-中上石炭 Keregetass 组中性火山岩,少量酸性火山岩夹粉砂岩及泥岩;3-泥盆纪灰岩;4~10:Koldarsk 侵入岩,4-花岗闪长斑岩脉;5-斑状花岗闪长岩体(a)和岩脉(b);6-斑状花岗岩;7-各种粒度的花岗岩;8-各种粒度的花岗闪长岩;9-粗粒斑状花岗闪长岩;10-闪长岩和辉长闪长岩;11-基性岩脉;12-主要断裂;13-其他断裂及其产状;14-不整合接触带;矿床:1-Aidarlin、2-Aktogai、3-Kezelkain

b: a-埃达尔雷,b-阿克托盖伊,c-克泽克亚。1-火山沉积岩;2-闪长岩、石英闪长岩;3-花岗闪长岩、斑状花岗闪长岩;4-花岗闪长斑岩;5-斜长花岗斑岩;6-辉绿岩;7-花岗岩脉;8-固结角砾岩;9-电气石化胶结的角砾岩;10-网脉状矿体边界;11-矿化带;12-网脉状硅化带

Fig. 6 Geological map (a) and Section (b) of Aktogai ore-field (from Zhukov *et al.*, 1997)

a: 1-upper Carboniferous-lower Koldarsk formation sedimentary rocks, tuffaceous sedimentary rocks and felsic tuff; 2-middle-upper Keregetass formation intermediate volcanics and little felsic volcanics with interlayer of siltstone and mudstone; 3-Devonian limestone; 4-10: Koldarsk plutonic complex; 4-grandiorite porphyry; 5-porphyritic granodiorite stock(a) and dyke(b); 6- porphyritic granite; 7- granite with a vatiety of grain size; 8- granodiorite with a vatiety of grain size; 9-coarse-grain porphyritic granodiorite; 10-diorite and gabbro-diorite; 11-basic dyke; 12-main fault; 13-other fault and its occurrence; 14- unconformity; copper deposits: 1-Aidarlin,2-Aktogai,3-Kezelkain

b: a- Aidarlin; b- Aktogai; c- Kezelkain. 1-volcanic sedimental rocks; 2-diorite and quartz diorite; 3-granodioriote and porphyritic granodiotite; 4-granodiotite; 5-plagioclase-granite porphyry; 6-diabase; 7-granite; 8-solidifed breccia; tourmaline cementated breccia; 10-stock-work ore body boundary; 11-mineralization zone; 12-stock-work silicic zone

并被巨厚的强黄铁矿化晕环绕。在无矿核中实际上无黄铁矿。多金属矿化比 Aktogai 矿床更强。多金属矿化产于网脉状矿体的外接触带,发育在黄铁矿晕中并在许多情况下超出其边界。

铜矿化具有较好的连续性,仅仅只是被各种成分的脉岩穿插。矿化连续延深达 1300m 以上。S/Cu 的平均值为 4.5∶1、Cu/Mo 为 35∶1。

Kyzylkiya 矿床

Kyzylkiya 矿床位于矿区东部、产于蚀变的花岗闪长岩中。由一系列近东西向陡倾的浸染状、细脉—浸染状黄铜矿—斑铜矿—辉铜矿矿化和弱黄铁矿化体组成。脉状矿化如在 Aktogai 矿床一样发育较小。向深部矿化岩石缩小(图 6b)。铅锌矿化出现在网脉状矿化的边缘,但非常弱。S/Cu 的平均值为 0.9∶1,Cu/Mo 比值大于 100∶1。

在 Aktogai 斑岩铜钼矿区,热液成矿过程可以划分为四个阶段,每个成矿阶段对应于自己的矿化组合:1)碱性阶段(葡萄石—黑云母—钾长石—石英—硫化物);2)酸性阶段(绢云母—石英—硫化物);3)硼铝硅酸盐阶段(电气石—硫化物);4)晚期碱性阶段(碳酸盐—氟石)。具有工业价值的矿化必须出现前两个阶段,矿化基本上与碱性阶段密切相关。酸性阶段由于带进了新的成矿物质导致早阶段沉淀的物质再活化迁移形成富矿石。后两个阶段实际上没有成矿物质的沉淀。

碱性阶段的蚀变岩具有明显分带性。外带由黑云母化岩石组成,而内带出现钾长石化和硅化,其强度向中心增加,以致形成单一的次生石英岩核。矿体赋存在黑云母化和钠长石化岩石被石英和钾长石交代的过度带上。在 Aidarly 矿床中石英核的周围分布细脉状和囊状的硬石膏,其数量向核部达到了岩石体积的 25%。

酸性阶段蚀变岩的分带性不太明显。中心发育石英—绢云母蚀变岩,向边缘转变为绢云母和绿泥石化蚀变岩。三个矿床的矿石矿物组成大致相当。基本的矿石矿物是黄铜矿、黄铁矿、磁铁矿、辉钼矿,少见钛磁铁矿、假像磁铁矿(Mushketovite)、白铁矿、磁黄铁矿、斑铜矿、辉铜矿、闪锌矿,偶见钛铁矿、磁赤铁矿、假像赤铁矿、方铅矿、黝铜矿、斜方硫砷铜矿、自然金。

矿化为 Cu-Mo 组合。Aktogai 矿床 Cu 平均品位 0.39%,Aigarly 平均品位 0.38%。矿石中 Mo 含量变化于 0.002% 到 0.17% 之间,平均品位为 0.01%。除 Cu、Mo 外,还含有 Re(0.007 ~ 2.2g/t,平均 0.24g/t),主要含铼矿物是辉钼矿。在辉钼矿中 Re 的含量在 177 ~ 2040g/t 之间。Se 含量 1 ~ 10g/t,平均 1.8g/t。主要的含 Se 矿物是黄铜矿、黄铁矿、辉钼矿和斑铜矿。金品位变化于 0.007g/t 到 0.4g/t 之间,它主要赋存在黄铁矿、黄铜矿、辉钼矿和磁铁矿中。Ag 含量 0.25 ~ 3.6g/t 之间,平均 1.8g/t. 同时还有 Pb、Zn、Bi、Ge、Ga、In、Tl、Co。在单矿物样品中,出现 Pt(到 0.05%)和 Os(黄铁矿中到 0.018g/t 和黄铜矿中到 0.036g/t)。

4.6 Koksai 斑岩铜矿

Koksai 斑岩铜矿位于塔迪库尔干州的 Gvardeisk 地区、州府中心所在地塔迪库尔干市 SSE60km 处。该矿床由 Mairin S. E. 发现,随后进行了勘探,规模达到大型。

矿床内发育志留系地层(灰岩夹砾岩),其上不整合覆盖下石炭统 Altynamelsk 组的熔岩、凝灰岩、英安质凝灰岩流纹岩、粉砂岩及凝灰质粉砂岩。往上是中上石炭统的 Batbaksk 组的地层,与志留系和下石炭统呈角度不整合接触,由巨砾岩、砾岩夹薄层细砾岩、凝灰质粉砂岩组成。喷发岩和次火山的流纹斑岩、安山玢岩也有分布(图 7)。

矿区中部分布 Koksai 组合的侵入杂岩,具有三个相:Ⅰ相—闪长岩和辉长—闪长岩;Ⅱ相—粗粒黑云母斜长花岗岩;Ⅲ相—含矿的相互转换的花岗闪长斑岩、花岗闪长岩、斜长花岗斑岩。斜长花岗斑岩的小侵入体在矿床中构成东西向的脉岩带,切穿了所有的古生代火山—沉积岩。矿床构造受 Koksai 断裂和含矿侵入体接触界面控制,具有弧形或凸透镜状形态。矿床由一个透镜状矿体组成(图 7),走向北西西。矿体的上部为无矿核。矿体具有较大的走向延伸(1860m),厚度 90 到 315m 东翼倾向南,倾角 60° ~ 65°,西部上部倾向北(60° ~ 65°),而下部倾向南(图 7)。矿体内部结构以带状矿化为特征,出现无矿或弱矿化带。矿化的轴部最稳定,形成大的矿块。

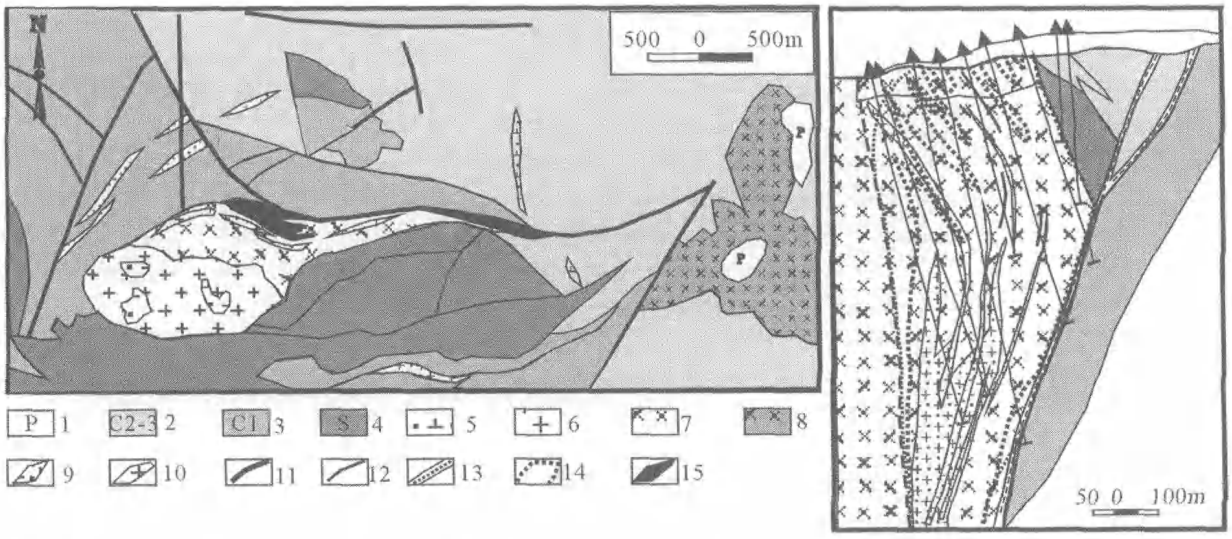


图7 Koksai 斑岩铜矿地质图(左)和剖面图(右)(据 Zhukov *et al.*, 1997 简化)

1-二叠纪的流纹斑岩、安山玢岩;2-中上石炭统的熔岩和凝灰岩、英安质流纹质凝灰岩、粉砂岩、凝灰质粉砂岩及灰岩;3-下石炭统的砾岩、泥岩、凝灰质粉砂岩、流纹质英安质凝灰岩;4-志留系的含砾角砾岩、泥岩、玄武质砾岩、粉砂岩及灰岩;5-闪长玢岩; 6-石英辉长岩、闪长岩、石英闪长岩;7-斑状花岗闪长岩;8-志留纪前的花岗闪长岩、黑云母斜长花岗岩;9-闪长岩、辉长闪长岩;10-花岗闪长岩斑岩;11-断裂;12-地质界线;13-构造破碎带;14-矿体边界;15-矿体

Fig. 7 Geological map(left) and section(right) of Koksai porphyry copper deposit (simplified from Zhukov *et al.*, 1997)

1-Permian rhyolite porphyry and andesite porphyrite; 2-middle-upper Carboniferous lava, tuff, siltstone, tuffaceous siltstone and limestone; 3-lower Carboniferous conglomerate, mudstone, tuffaceous siltstone and rhyolitic tuff; 4-Silurian granodiorite, biotite-plagioclase granite; 5-diorite and gabbro-diorite; 6-gabbro, diorite and quartz-diorite; 7-porphyritic granodioite; 8-earlier than Silurian granodiorite, diorite and gabbro-granite; 9-diorite and gabbro-diorite; 10-granodiorite; 11-fault; 12- geologic boundary; 13- structure fractured zone; 14-ore body boundary; 15-ore body

在矿床中出现三个阶段的矿化—蚀变过程:碱性阶段(钾长石化、绿泥石化、硅化),其发育局限在深部;酸性阶段(硅化、绢云母化绿泥石化钠长石化);晚期碱性阶段(方解石,有时有重晶石)。在酸性阶段的产物中,实际上构成了矿床的所有矿石,常具有水平分带,由中心向外表现为:绢云母—石英—黄铁矿带、然后是绢云母—石英—辉钼矿—黄铜矿带,然后是绿泥石—绢云母—石英带、碳酸盐—绿泥石带。矿石构造为细脉状、细脉—浸染状、浸染状。在构造带中还有角砾状、条带状。矿石的硫化物发育深度大于1000m,基本的矿石矿物是黄铁矿、黄铜矿、磁铁矿、斑铜矿、辉钼矿,次要和微量矿物是赤铁矿、假像赤铁矿、闪锌矿、方铅矿、磁黄铁矿、方黄铜矿、白铁矿、方辉铜矿、铜兰、辉铜矿、假像磁铁矿(Mushketovite)、黝铜矿、磁赤铁矿、自然金、辉铋矿、斜方辉铅铋矿、毒砂。非金属矿物是石英、绢云母、绿泥石、凝灰石、方解石、白云石、钾长石和黑云母。

氧化带到40m,但没有次生富集作用,矿物组成是水赤铁矿、针铁矿、褐铁矿、硬锰矿、硅孔雀石、蓝铜矿、赤铜矿及自然铜。

矿石中Cu含量平均0.52%、Mo平均0.005%。Cu/Mo比值104∶1。除Cu、Mo外,矿石中还有金(0.12g/t)、Ag(1.24g/t)、Pb(0.06% ~ 0.11%)、Zn(0.025% ~ 0.07%)、Re(0.055 g/t)、Se(3.5 g/t)、Te(1.1 g/t)、Co(0.001% ~0.003%)。

4.7 Kyzylkain 斑岩铜矿

Kyzylkain 斑岩铜矿位于东哈州的塔尔巴哈台地区、Priozer 村南 15km 处。该矿床于 1941 年由 Oshurkov 和 Betekhtina 发现,通过普查,由于品位较低,对该矿床未进行进一步评价。根据细疏钻孔控制,铜储量达大型,平均品位0.3%、边界品位0.2%。

矿床位于萨吾尔岛弧带,出露地层为中下石炭统的火山—沉积岩建造和新生代地层(图8)。火山—沉积岩可分为三个组。大面积出露的是 Kurzhunbaisk 组中基性成分的玢岩及其凝灰岩夹凝灰质粉砂岩,厚度1000m。矿区侵入岩是石炭纪的中基性次火山玢岩,早期侵入相是暗色中粒闪长岩及辉长闪长岩,晚期侵入相是纳缪尔阶(下石炭统)萨吾尔组合的石英闪长岩、花岗闪长岩、花岗岩、花岗正长岩,中石炭的淡色细粒花岗岩、花岗斑岩。闪长玢岩和辉绿玢岩脉为萨吾尔组合的脉岩。最年轻的是闪长玢岩脉,其切穿了所有的其他侵入体和热液蚀变及黄铁矿化岩石。

在构造上,矿区赋存于肯赛背斜的南翼,具典型的中心式火山机构构造,地形形态是隆起的中心被环形火山洼地围绕,直径达1.9km ~ 3km。控制洼地的所有弧形断裂均向中心倾斜。火山洼地及其附近的岩石均已热液蚀变,蚀变强度向中心增强。除了最晚期的闪长玢岩脉,所有的岩石均已蚀变,蚀变表现为钠长石化、绿泥石化、碳酸盐化、绢云母化和

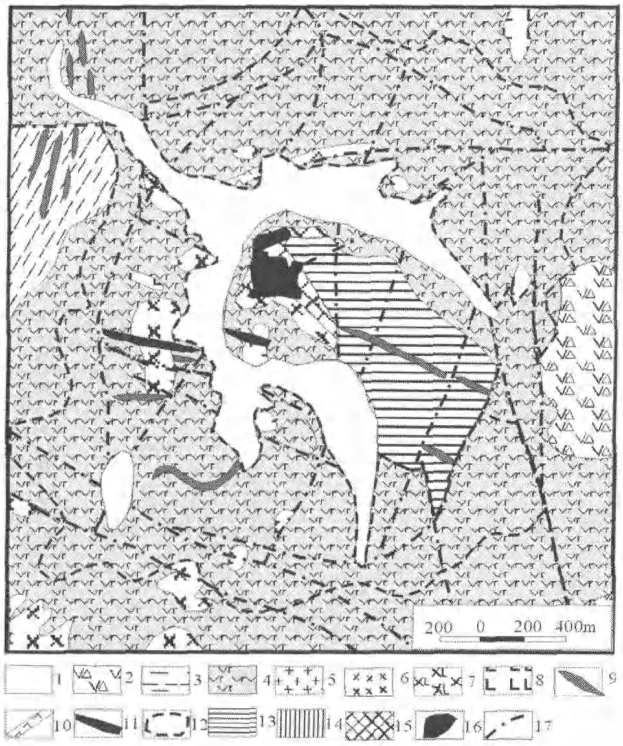


图 8 Kyzylkain 斑岩铜矿地质图(据 Zhukov *et al.*. 1997)

1-第四系;2-中下石炭统肯赛组的中基性玢岩及其凝灰岩夹凝灰质粉砂岩;3-下石炭统的粉砂岩、泥岩;4-下石炭统 kurzhubai 组中基性玢岩、凝灰岩夹凝灰质粉砂岩;5-中石炭世的花岗岩;6-早石炭世第二相花岗闪长岩、石英闪长岩、花岗岩及正长花岗岩;7-早石炭世第一相辉长闪长岩、辉长岩及闪长岩;8-次火山基性组成的玢岩;9-中基性组成的次火山玢岩;10-安山玢岩;11-晚石炭-早二叠世闪长玢岩;12-热液蚀变范围;13-粘土化带;14-石英岩;15-铜矿化带;16-大于 0.5% 的铜矿体;17-断裂

Fig. 8 Geological map of Kyzylkain porphyry copper deposit (from Zhukov *et al.*, 1997)

1-quaternary; 2-middle-structure fractured Kensai formation intermediate-basic porphyrite and tuff interlay tuffaceous siltstone; 3-lower Carboniferous siltstone and mudstone; 4-lower Carboniferous Kurzhubai formatioan intermediate-basic porphyrite and tuff interlay tuffaceous siltstone; 5-middle carboniferous granite; 6-early-carboniferous gabbro-diorite, gabbro and diorite; 8-subvolcanic basic porphyrite; 9-intermediate subvolcanic porphyrite; 10-andesite porphyrite; 11-lower carboniferous early Permian diorite porphyrite; 12-hydrothermal alteration area; 13-argillation; 14-quartzite; 15-copper mineralization zone; 16-ore body containning copper grade higher than 0.5% ; 17-fault

黄铁矿化,钾长石化和黑云母化表现较弱,而绿帘石化分布范围较广。在火山机构的中心部分发育的高级泥化、硅化、石膏化、褐铁矿化只出现在地表。沿高级泥化的南西边缘圈定了一个铜矿化带,大小 600m × 500m,平面上具有蘑菇状形态。矿化带内可以分出含铜大于 0.5% 的两个矿段。其中一个大小 100m × 300m,北西走向,而另一个大小 30m × 200m,近东西向分布。根据钻孔资料,矿化强度从表生带的 0.3% 到深度 200m 时的 0.5%,而到 400m 则达 0.8%。矿化主要与石英细脉有关。原生矿石主要由黄铁矿、黄铜矿、辉钼矿、辉铜矿和铜兰组成。可见黄铜矿与角闪石和黑云母共生,少见白钨矿,在氧化带中见黄钾铁矾、蓝铜矿、孔雀石和绿铜矿。

5 蚀变矿化及 S、Pb 同位素

5.1 蚀变特征

Zhukov *et al.* (1982, 1991, 1995)、Daykeev *et al.* (2002) 根据对环巴尔喀什斑岩铜矿的研究建立其系统热液蚀变分带模式,研究比较详细的是 Bozshakol、Kounrad 和 Aktogai 矿床(图 9)。根据这种分带模式,主要的蚀变分为两个阶段:碱性蚀变阶段和酸性蚀变阶段,实际上前者代表的是递进蚀变,而后者则代表了退化蚀变(表 2)。

5.2 S、Pb 同位素组成

为了探讨成矿物质来源,前人对中哈萨克斯坦的斑岩铜矿进行了硫、铅同位素研究,其中硫同位素研究尤为详细(图 10)(Kolesnikov, 1991),从中可以看出各个矿床的硫同位素均较为集中,变化较小,暗示成矿物质来源于深部岩浆的分异。

Syromiyatnikov *et al.* (1988) 详细研究了中哈萨克斯坦斑岩铜矿的铅同位素组成(图 10),结果表明大多数矿床的铅同位素显示为壳-幔混合来源。硫、铅同位素研究表明成矿流体及其物质来源具有深源特征。

6 讨论

6.1 斑岩铜矿成矿构造背景

根据目前的资料,中哈萨克斯坦斑岩铜矿主要分布于三个时期:早古生代岛弧阶段、晚古生代泥盆纪的火山—侵入岩带、晚古生代晚泥盆世—早中石炭世的火山—侵入岩带。

6.1.1 中哈萨克斯坦早古生代斑岩铜矿产出的构造背景

哈萨克斯坦陆块由前寒武微大陆残片和早古生代岛弧的拼贴组成(Windly *et al.*, 2007)。微大陆以古元古代基底和新元古代到早古生代盖层为特征。前寒武的残片被认为是来自东冈瓦纳的边缘(Mossakovsky, 1993; Kheraskova, 2003),或通过新元古代或寒武纪的裂谷作用来自西伯利亚贝加尔褶皱带边缘(Windly *et al.*, 2007)。

从寒武纪到早志留纪的大量岛弧出现在哈萨克斯坦微大陆的早古生代增生拼贴构造中。综合的地质地球化学数据显示某些岛弧是在洋壳基础上发展起来的(Baidaulet-Akbastau),而另一些岛弧是在包括大洋和大陆残片的不均匀基底基础上发展(Boshchekul-Chingiz 和 Selety 弧),通常以相对短期的火山活动为特征。岛弧火山岩建造首先以基性为

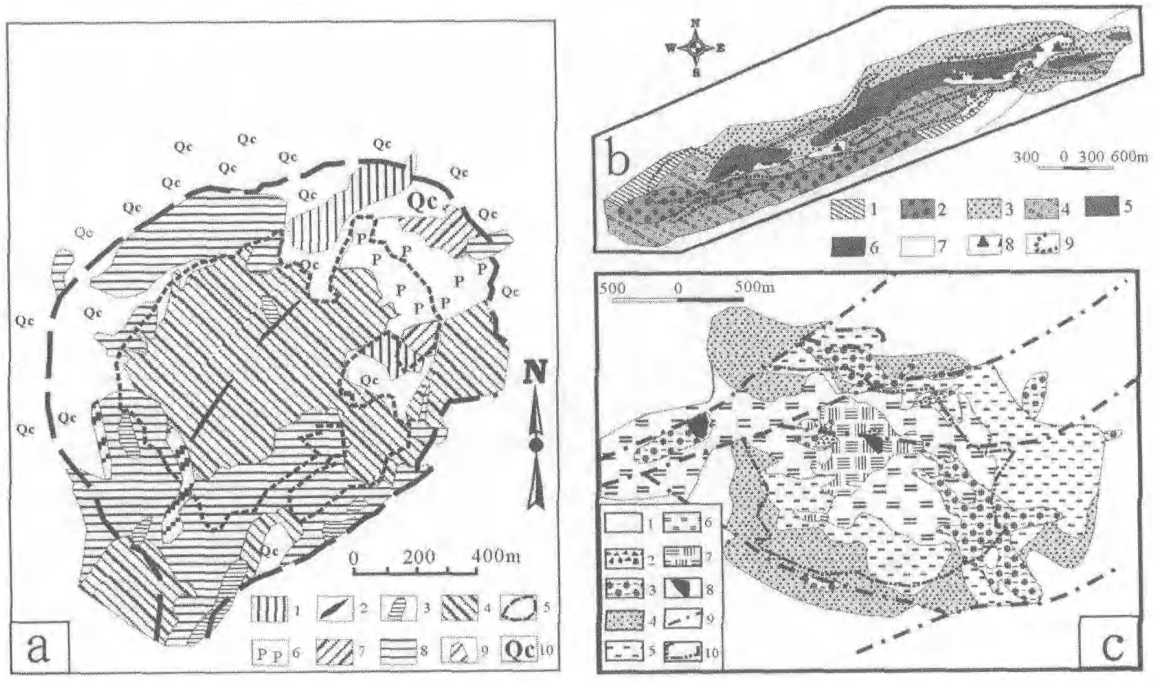


图 9a Kounrad 斑岩铜矿的蚀变组合及其分带(据 YuK. Kudryavtsev, 1996);b Bozshakol 斑岩铜矿蚀变分带(据 Daukeev *et al.*, 2002);c Aktogai 斑岩铜矿蚀变分带(据 Daukeev *et al.*, 2002)

a: 1-晚期石英—绢云母—白云母,局部具电气石; 2-硅化岩石; 3-石英—叶腊石—明矾石; 4-粘土化; 5-早期石英—绢云母; 6-青磐岩化; 7-黑云母化和钾长石化; 8-含刚玉和红柱石蚀变岩; 9-石英—绢云母—硬水铝石; 10-石英—绢云母

b:1-绿泥石化和绢云母化;2-硅化—绢云母化;3-黑云母化;4-黑云母化叠加绿泥石化;5-钾长石化;6-硅化核;7-未蚀变岩石;8-热液角砾岩;9-矿体边界

c: 1-未蚀变岩石;2-热液角砾岩;3-硅化—绢云母化;4-黑云母和钠长石化;5-黑云母化和钾长石化;6-中等钾长石化;7-强钾长石化和硅化;8-硅化核;9-断裂;10-矿体边界

Fig. 9 a Alteration assemblages and zonations of Kounrad porphyry copper deposit (modified from YuK. Kudryavtsev, 1996); b Alteration zonations of Bozshakol(up) and Aktogai(down) porphyry copper deposit (modified from Daukeev *et al.*, 2002); c

a: 1-late stage quartz-sericite-muscovite, locally tourmaline; 2-silicification rocks; 3-quartz-pyrophyllite-alunite; 4-argillation; 5-early stage quartz-sericite; 6-propylitization; 7-biotitization and k-feldsparization; 8-corundum-andalusite-bearing altered rocks; 9-quartz-sericite-diaspore; 10-quartz-sericite

b: 1-chloritization and sericitization; 2-silicification-sericitization; 3-biotitization; 4-biotitization superimposed chloritization; 5-k-fldsparization; 6-silicic core; 7-unaltered rocks; 8-hydrothermal breccia; 9-ore boundary

c: 1-unaltered rocks; 2-hydrothermal breccia; 3-phyllic alteration; 4-biotitization and albitization; 5-biotitization and k-feldsparization; 6-intermediate k-feldsparization; 7-intense k-feldsparization; 8-silicic core; 9-fault; 10-ore boundary

主,少量中性和酸性组成,与沉积岩互层:粉砂岩、泥岩、泥质碳质泥岩、硅质片岩硅质岩、碧玉岩透镜状的砾岩和碳酸盐岩夹层。火山岩和沉积岩之间的关系变化较大,但对所有成矿带都表现为向上部沉积岩增加的趋势。侵入岩是辉长岩、闪长岩、花岗闪长岩、斜长花岗岩,少量花岗岩、花岗正长岩等。含铂族元素的金—钼—铜辉长岩—斜长花岗岩成矿组合与岛弧发育的早期阶段有关。

6.1.2 中哈萨克斯坦晚古生代斑岩铜矿产出的构造背景

晚奥陶世和志留纪造山事件使早古生代的主要岛弧与微大陆拼贴,形成了中哈萨克斯坦的大陆环境。早泥盆世向哈萨克斯坦微大陆边缘之下的俯冲作用导致了主要的安底斯型岩浆弧的形成,因此,新形成的泥盆纪火山—侵入岩带是一个建立在先前增生和固结地壳之上的大陆岩浆弧(Degtyarev, 1999; Windley *et al.*, 2007)。在这个岩浆弧之上又叠加石炭纪—二叠纪岩浆弧,弧岩浆在早二叠世时终止(Zaitsev, 1984; Windley *et al.*, 2007)。因此,中哈萨克斯坦可以划分出两个独立的火山—岩浆弧:泥盆纪和石炭—二叠纪。

泥盆纪火山—岩浆岩带分布于楚—伊梨山、萨雷苏—成吉斯隆起、卡拉干达、谢米斯台及巴央拉乌尔地区、Shenges山的西南部。他们环绕泥盆纪—石炭纪的准噶尔—巴尔喀什古洋盆的边缘形成。随洋盆的退化和增生楔边缘的扩展,向洋盆中心,大洋后退,岩浆活动变得复杂,火山—岩浆弧互

表2 环巴尔喀什斑岩铜矿蚀变分带*

Table 2 Alteration zonations of porphyry copper deposits in the Balkhash region, Central Kazakhstan

	分带(从边缘向中心)	1	2	3	4	5
碱性阶段	蚀变基本特征	弱黑云母化	中等到强黑云母化	中等到强黑云母化,弱钾长石化	弱到中等黑云母化,中等到强钾长石化、硅化	强钾长石化、硅化,钾长石—石英网脉、白云母化
	新生矿石矿物	磁铁矿	磁铁矿、黄铁矿	黄铁矿、磁铁矿、黄铜矿、辉钼矿	黄铜矿、辉钼矿、黄铁矿、磁铁矿、斑铜矿	辉钼矿、黄铜矿、斑铜矿、黄铁矿
	新生非金属矿物	黑云母常见,少量角闪石沿凝灰岩及角砾岩的裂隙发育	大量黑云母,在矿物及岩石的角砾的胶结物中大量发育角闪石	网脉状的钾长石,有时与石英一起穿切黑云母化岩石,黑云母常绿泥石化	网脉状的石英—钾长石,常见花岗变晶状的石英—钾长石组合,残留的黑云母完全绿泥石化	岩石完全为花岗变晶状的石英—钾长石组合,常见具钾长石和白云母包容边的石英网脉
	矿化—蚀变组合	与黑云母有关的磁铁矿斑点	与黑云母共生的浸染状磁铁矿,黄铁矿与石英、绿泥石共生,石英、黑云母、凝灰石与磁铁矿构成网脉	与钾长石、绿泥石及少量黑云母有关的浸染状和网脉状黄铁矿,与黑云母共生的磁铁矿,与钾长石共生的黄铜矿。有时见石英、黑云母、凝灰石、绿泥石与磁铁矿、黄铁矿、黄铜矿一起构成网脉	在钾长石、绿泥石和黑云母中浸染状和网脉状的黄铜矿。石英中的辉钼矿,黄铁矿与黄铜矿共生,磁铁矿的残余与黑云母共生	黄铜矿与斑铜矿在具钾长石包容边的石英网脉中。辉钼矿在石英中,黄铁矿和白云母在石英中
酸性阶段	蚀变基本特征	绿泥石化和碳酸盐化	石英—绢云母—绿泥石蚀变	强硅化、绢云母化岩石	石英—绢云母和绢云母—石英岩	
	新生矿石矿物	磁铁矿	黄铜矿、黄铁矿、辉钼矿、赤铁矿、磁铁矿	黄铁矿、黄铜矿、赤铁矿、辉钼矿、闪锌矿	黄铁矿、赤铁矿、辉钼矿、闪锌矿、砷黝铜矿、黄铜矿	
	新生非金属矿物	暗色矿物、有时斜长石部分或全部绿泥石和方解石交代	绿泥石和斜长石部分被绢云母交代,并出现少量石英	岩石中的绿泥石、暗色矿物完全被交代,斜长石被石英—绢云母—白云母交代	除石英外所有的矿物被石英、绢云母、有时铁锰碳酸盐交代	
	矿化—蚀变组合	绿泥石中浸染状磁铁矿	绿泥石、石英中的黄铜矿,绢云母中黄铁矿,石英中的辉钼矿,绿泥石—黄铁矿—赤铁矿—黄铜矿与石英或无石英构成网脉	绢云母中的黄铁矿,黄铜矿和辉钼矿在石英中,闪锌矿和方铅矿及黄铜矿在石英—黄铁矿网脉中,赤铁矿与黄铁矿、黄铜矿共生	黄铁矿与石英和绢云母共生,稠密浸染状的石英—黄铁矿和密集的黄铁矿与石英、碳酸盐,辉钼矿、黄铜矿与石英共生,石英—黄铜矿—闪锌矿—黄铁矿及石英—碳酸盐—闪锌矿与方铅矿、黄铜矿构成网脉,赤铁矿与碳酸盐在石英—硫化物网脉中	

* 据 Daykeev *et al.* (2002)

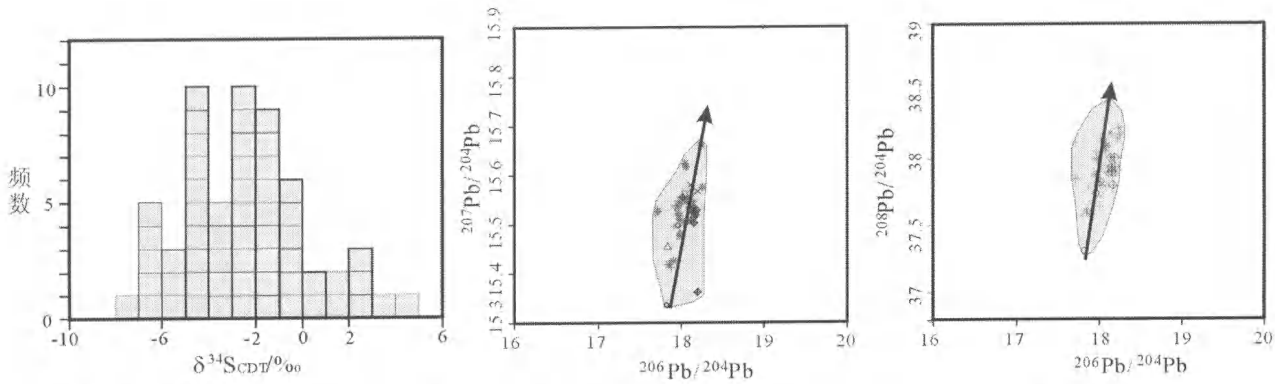


图 10 中哈萨克斯坦斑岩铜矿硫化物 S、Pb 同位素组成(据 Kolesnikov, 1991; Syromiyatnikov *et al.*, 1988)

Fig. 10 S and Pb isotope composition of sulfides from porphyry copper deposits in Central Kazakhstan (data from Kolesnikov, 1991; Syromiyatnikov *et al.*, 1988)

相叠置在一起。在泥盆纪和石炭纪的边界,新的俯冲带又叠加上来,因此,火山—岩浆岩带空间上相互叠置。

晚古生代(近巴尔喀什—伊犁)石炭-二叠纪火山—侵入岩带是叠加在泥盆纪火山—侵入岩带之上的向南东开口的开放性半椭圆形带。由陆相火山岩夹沉积岩层及同期侵入岩组成。在北部,晚古生石炭-二叠纪代火山—侵入岩带与泥盆纪的 Tekturmass、Zhanaarkins、Zhaman—Saresui 和萨雷苏—Mointin 背斜、萨雷苏及乌斯品向斜分开。在南部和南东部,它常覆盖在泥盆纪火山—侵入岩带之上。半椭圆形的内部充填石炭纪海相沉积物。该带可划分为伊犁、Tokrau 及 Karkaralin—Alakoly 斑岩铜矿集中区(Bakhteev, 1987),分别对应于准噶尔—斋桑、Tokray 及巴尔喀什北部成矿带。在整个晚古生代石炭-二叠纪火山—侵入岩带与泥盆纪火山—侵入岩带的最大区别是火山岩组成更酸性:泥盆纪火山岩中酸性组成占 57.4%,而在晚古生代石炭-二叠纪火山—侵入岩带酸性组成占 69.6%(Bakhteev, 1987)。如果泥盆纪火山—侵入岩带火山作用随时间从外向内变化,那么在伊犁集中区火山作用向中心收缩,而在其他集中区从内向外变化。另外,在晚古生代石炭-二叠纪火山—侵入岩带火山岩剖面上的三元结构表现不明显。晚古生代石炭-二叠纪火山—侵入岩带的前缘带与中间带的区别是稍微基性的火山岩组成,因此主要的斑岩铜矿都与之有关,归为 Kounrad—Aktogay 花岗闪长岩—斜长花岗岩斑岩 Cu-Mo 成矿组合。

6.2 环巴尔喀什湖斑岩铜矿的时空演化趋势

斑岩铜矿成矿时代从奥陶纪或寒武纪到二叠纪均有分布,主要斑岩铜矿成矿集中于泥盆纪、石炭纪—二叠纪(图 11)。大部分矿床的成矿时代目前只是根据地质关系限定,多无准确的测年资料,在巴尔喀什向北到北哈州,斑岩铜矿成矿时代似乎有变老的趋势。

6.3 斑岩铜矿成矿体系

在斑岩铜矿的外围常与之伴生有矽卡岩型铜矿或浅成低温热液 Au-Ag 矿床,与斑岩铜(钼、金)矿构成统一的成矿体系,对这种成矿体系的研究将有助于建立找矿识别标志,通过矽卡岩型或浅成低温矿化的研究有助发现相关的斑岩型矿床,反之亦然。其中斑岩—矽卡岩成矿体系以萨亚克矿田为代表,而斑岩—浅成低温成矿体系则以萨马尔斯克矿床为代表。

7 结论与研究展望

7.1 结论

(1) 中哈萨克斯坦的斑岩铜矿划分 8 个斑岩铜矿集中区或成矿带,主要分布于萨吾尔山、环巴尔喀什、北哈州。

(2) 早古生代与岛弧有关的斑岩铜矿分布于中哈萨克斯坦的西北部,斑岩金—钼—铜组合与辉长岩—斜长花岗岩有关,并具有同期火山岩,成矿时代大致为寒武纪—奥陶纪。

(3) 晚古生代的斑岩铜矿主要产于两个阶段的火山—岩浆弧中,泥盆纪火山—岩浆弧中的斑岩铜矿主要分布于中哈萨克斯坦的中部,成矿时代推测为早中泥盆世;与石炭-二叠纪火山—岩浆弧有关的斑岩铜矿集中分布于巴尔喀什湖南北两侧,成矿时代推测为早石炭世-早二叠世。

(4) 中哈萨克斯坦的斑岩铜矿具有成群成带分布特征。

(5) 巴尔喀什斑岩铜矿集中区因其集中产出、多期成矿且成矿时代跨度大、规模巨大而在世界斑岩铜矿中独具特色。但是除个别矿床外(如科翁纳德矿床),总体研究程度不高,在许多方面值得进一步研究。

7.2 研究展望

巴尔喀什斑岩铜矿集中区因其集中产出、多期成矿且成矿时代跨度大、规模巨大而在世界斑岩铜矿中独具特色。但是除个别矿床外(如科翁纳德矿床),总体研究程度不高,根据已知的地表地质重建了中哈萨克斯坦初步的古生代演化格局,但其细节不清楚。Heinhorst *et al.* (2000) 和 Kröner *et*

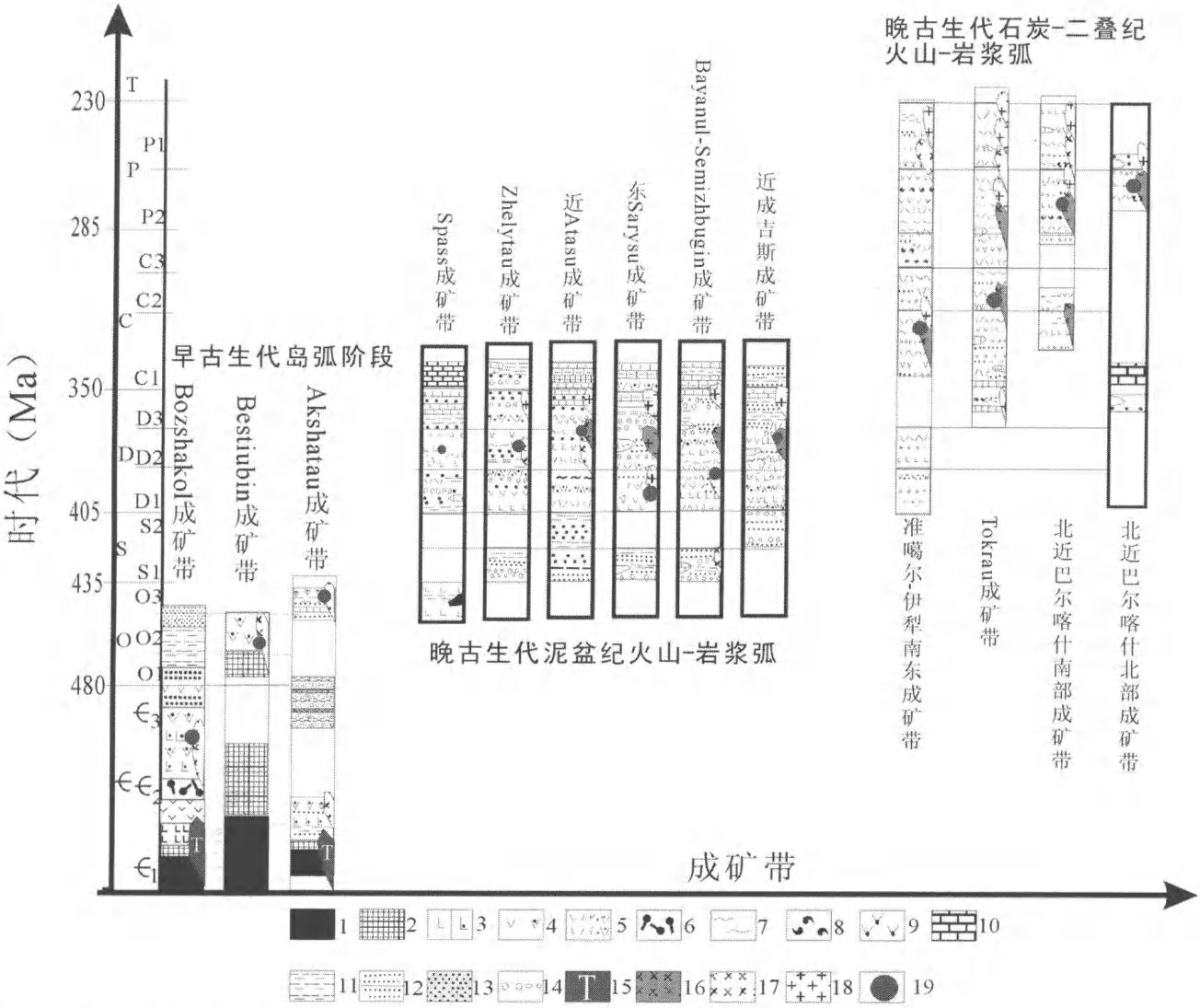


图 11 中哈萨克斯坦斑岩铜矿时空演化趋势示意图(据 Daukeev *et al.* ,2002 修改)

1-玄武岩;2-硅质陆源碎屑岩;3-基性火山岩;4-中性火山岩;5-酸性火山岩;6-粗面岩类;7-凝灰熔岩;8-层凝灰岩;9-粗面安山岩;10-灰岩;11-泥岩;12-粉砂岩;13-砾岩及粉砂岩;14-砾岩;15-超基性岩;16-斜长花岗岩,花岗闪长岩,闪长岩及辉长岩;17-闪长岩及花岗闪长岩;18-花岗岩;19-斑岩铜矿

Fig. 11 Temporal and spatial evolution trend of porphyry copper deposits in central Kazakhstan (modified from Daukeev *et al.*, 2002)

1-basalt; 2-silicic terrigenous clastic rocks; 3-basic volcanic rocks; 4-intermediate volcanic rocks; 5-felsic volcanic rocks; 6-trachytic rocks; 7-tuffaceouse lava; 8-tuffite; 9-trachytic andesite; 10-limestone; 11-mudstone; 12-siltstone; 13-conglomerate and siltstone; 14-conglomerate; 15-ultrabasic rocks; 16-plagioclase granodiorite, diorite and gabbro; 17-diorite and granodiorite; 18-granite; 19-porphyry copper deposit

al. (2008)获得一些矿区花岗岩的同位素及年代学数据,但只是踏勘性质的。仍存在较多问题,在以下几方面今后将加强研究。环巴尔喀什—准噶尔成矿带构造-岩浆过程与"大磁环"的耦合关系,及其与斑岩铜矿、浅成低温金矿密集环状分布的关系。在成岩成矿年代学方面,应该系统的成岩成矿年代学研究,准确厘定中哈萨克斯坦的火山—岩浆活动及热液演化及成矿过程的时空结构,东西分带或是南北成带、或是南北分段,或者是南北对称成矿。其次是成矿岩石学方面,应建立完整的岩浆演化序列,查明含矿斑岩的岩浆来源,含矿斑岩岩浆上侵过程中是否受到地壳物质的混染,岩石形成的大地构造背景等。同时,系统总结巴尔卡什地区斑岩铜矿的成矿背景、成矿时代及其成矿条件,并与新疆境内的同类矿床进行广泛对比,探讨它们之间的异同,充分揭示环巴尔喀什—准噶尔地区跨国境斑岩铜矿成矿特点,特别是环巴尔喀什湖斑岩铜矿成矿是否具有分带性、分段性及对称性,建立区域成矿模型和找矿标志,对推动新疆同类矿床的勘查

将具有指导意义。

另外,中哈萨克斯坦斑岩铜矿勘查结果显示矿体延深达千米以上,如 Koksai、Samarsk 斑岩铜矿等,而新疆已发现的矿床延深能否达到千米以上深度,资源潜力究竟多大,仍将是今后勘查的主攻目标。

8 与中国新疆斑岩铜矿带的连接对比

中哈萨克斯坦环巴尔喀什成矿带是世界著名的斑岩铜矿带,可能与我国的伊梨盆地北缘到西准地区、萨吾尔地区相接(图1)。环巴尔喀什湖东南部晚古生代晚泥盆—早二叠世火山—岩浆弧即捷克利—科克赛成矿亚带与赛里木—博罗科努多金属—斑岩铜矿亚带连接,重点对比研究科克赛斑岩铜矿与莱力斯高尔、北达巴特斑岩铜矿的联系,主要类型为斑岩铜—矽卡岩成矿体系。而环巴尔喀什湖北东部晚古生代晚泥盆—早二叠世火山—岩浆弧可能延伸到西准噶尔的巴尔鲁克地区,主要矿床类型是斑岩铜矿床和火山晚期热液型金矿,典型斑岩铜矿床如 Aidarly (4.0Mt)、Kounrad (10.0Mt)、Aktogay (10Mt)等。但目前为止,西准的巴尔鲁克地区仅发现一系列金铜矿点,这些矿点均位于闪长玢岩岩体内部及其附近。因此,关键是查明铜矿点与闪长玢岩之间的时空和成因联系,进而发现含矿岩体,寻找斑岩铜矿;查明该区是否存在斑岩型-矽卡岩-浅成低温成矿体系。

哈萨克斯坦萨吾尔石炭纪岛弧火山岩带可以与北准的萨吾尔岛弧火山岩带相连,目前在该带上发现四个斑岩铜矿,均具同期火山岩,如斋桑湖南部的 Kyzylkain 斑岩铜矿、中国萨吾尔的罕哲尕能斑岩铜矿点。而 Bozshakol-成吉斯斑岩铜矿带可能延伸到西准的谢米斯台地区,具体的连接方案有待进一步研究。最近在新疆北部发现的一些矿床或者矿点的研究不断取得研究进展(例如:张锐等,2006;宋会侠等,2007;安芳和朱永峰,2007,2008;王瑞和朱永峰,2007;Zhu *et al.*, 2007),为开展境内外成矿带的对比研究奠定了良好基础。尽管如此,西准噶尔包古图铜矿与中哈萨克斯坦斑岩铜矿带的连接问题还有待开展进一步深入的研究。

致谢 本文的研究得到"十一五"国家科技支撑计划重点项目(2006BAB07B08)和中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX2-YW-107)资助。项目执行过程中得到了国家305项目办公室的大力支持、中国科学院创新工程重要方向项目负责人徐兴旺博士的大力支持和有益谈论,北京大学朱永峰教授对论文初稿进行了认真细致的修改,使论文得以进一步完善,在此一并感谢!

References

Abdulin AA, Bespaev HA, Votsalevsky ES, Daukeev SZH and Miroshnichenko LA. 1996. Map of mineral resources of Kazakstan: Non-ferrous metals, Scale 1:2000000, IPC, Alma-Ata

Abdulin AA and Esenov ShE. 1975. Copper metallogenic belt of Kazakhstan, Izvestiya Acad. Sci. USSR, Geol. Series, N 6, 1 - 14 (in Russian)

An F and Zhu YF. 2007. Studies on geology and geochemistry of alteration-type ore in the Hatu Gold deposit (western Junggar, Xinjiang), NW China. Mineral Deposits, 26(6): 621 - 633 (in Chinese with English abstract)

Avdeev AV. 1984. Ophiolite zones and the geologic history of Kazakhstan from the mobilist standpoint. Internat. Geol. Rev., 26: 995 - 1005

Bakhteev MK. 1987. Paleozoic orogenic volcano-plutonic belts. Moscow, 168 (in Russian)

Bekranov GR, Liubechky VN and Polevaya YaD. 1975. Tectonic Setting of Kazakhstan based on geophysical data, Alma-Ata, 162 (in Russian)

Buslov MM, Fujiwara Y, Iwata K and Semakov NN. 2004. Late Paleozoic Early Mesozoic geodynamics of Central Asia. Gondwana Research, 7: 791 - 808

Buslov MM, Saphonova I Yu and Watanabe T. 2001. Evolution of the Paleo-Asian ocean (Altai Sayan region, Central Asia) and collision of possible Gondwana-derived terranes with the southern marginal part of the Siberian continent. Geosciences Journal, 5: 203 - 224

Daukeev S Zh, Uzhkenov AA, Abdulin AA, Miroshnichenko LA, Chukov NM, Mazurov AK, Bespaev KhA, Dolgopolov VM, Akylbekov SA, Zhautikov TM and Gubaidulin FG. 2002. Deep-seated structure and Mineral resources of Kazakhstan, Volume 2: Metallogeny, Alma-Ata, 271 (in Russian)

Degtyarev KYe. 1999. Tectonic evolution of the Early Paleozoic active margin in Kazakhstan. Transactions of GIN, 513: 1 124 (in Russian)

Fedorovsky VS, Khain EE, Vladimirov AG, Kargopolov SA, Gibsher AS and Izokh AE. 1995. Tectonics, metamorphism, and magmatism of collisional zones of the Central Asian Caledonides. Geotectonics 29: 193 - 212

Filippova IB, Bush VA and Didenko AN. 2001. Middle Paleozoic subduction belts: The leading factor in the formation of the Central Asian fold-and-thrust belt. Russian J. Earth Sci. 3: 405 - 426

Glukhan IV and Serykh VI. 1996. Geology and tectonic evolution of central Kazakhstan. In: Shatov V, Seltmann R, Kremenetsky A, Lehmann B, Popov V and Ermolov P (eds.). Granite-related Ore Deposits of Central Kazakhstan and Adjacent Areas. St Petersburg: Glagol Publ. House, 11 - 24

Golovanov IM. 1978. Copper ore formations in the Western Tian-Shan, Tashkent. 263 (in Russian)

He GQ and Zhu YF. 2006. Comparative study of the geology and mineral resources in Xinjiang, China, and its adjacent regions. Geology in China, 33(3): 451 - 460 (in Chinese with English abstract)

Heinhorst, J, Lehmann B, Ermolov P, Serykh V and Zhurutin S. 2000. Paleozoic crustal growth and metallogeny of central Asia: Evidence from magmatic-hydrothermal ore systems of central Kazakhstan. Tectonophysics, 328: 69 - 87

Kayupov AK. 1974. Formations of porphyry copper deposits in the Zhungaer-Balkhash fold system, Izvestiya. Acad. Sci. USSR, Geol. Series, N 4: 1 - 11 (in Russian)

Khain EV, Bibikova EV and Salnikova EE. 2003. The Palaeo-Asian ocean in the Proterozoic and early Palaeozoic: New geochronologic data and palaeotectonic reconstructions. Precambrian Research, 122: 329 - 358

Kheraskova TN, Didenko AN, Bush VA and Volozh YA. 2003. The Vendian-Early Paleozoic history of the continental margin of eastern Paleogondwana, Paleoasian ocean, and Central Asian foldbelt. Russian J. Earth Sci. 5: 165 - 184

Kolesnikov VV. 1991. Nonferrous metals deposits. Series: The Balkhash Segment. Alma-Ata: Gylym, 192 (in Russian)

Krivchov AI. 1977. Types of porphyry copper mineralization. Geology of Ore Deposits, No. 4: 3 - 20 (in Russian)

Krivchov AI. 1983. Geological elements of prodiction and exploration of porphyry copper deposits, Moscow, 256 (in Russian)

Krivchov AI, Migachev IF and Popov VS. 1986. Worlds porphyry copper deposits, Moscow, 236 (in Russian)

Kr ner A, Hegner E, Lehmann B, Heinhorst J, Wingate MTD, Liu, DY and Ermelov P. 2008. Palaeozoic arc magmatism in the Central Asian Orogenic Belt of Kazakhstan: SHRIMP zircon ages and wholerock Nd isotopic systematics. Journal of Asian Earth Sciences, 32: 118 - 130

Kudryavtsev YK. 1996. The Cu Mo deposits of Central Kazakhstan. In: Shatov V, Seltmann R, Kremenetsky A, Lehmann B, Popov V and Ermolov P (eds.). Granite-related Ore Deposits of Central Kazakhstan and Adjacent Areas. St Petersburg: Glagol Publ. House, 119 - 144

Liyapichev GF, Miroshnichenko LA and Starov VI. 1975. Tectonic and petrochemical features of porphyry Mo-Cu formations in the Kazakhstan. Izvestiya Acad. Sci. USSR, Geol. Series, N 6: 15 - 29 (in Russian)

Miroshnichenko LA, Fomichev VI and Kuzhnecova VI. 1971. Alterations of Sayak ore-field, Balkhash region. Alma-Ata, 183 (in Russian)

Mossakovsky AA, Ruzhentsev SV, Samygin SG and Kheraskova TN. 1993. Central Asian fold belt: geodynamic evolution and history of formation. Geotectonics, 6: 3 - 33

Pavlova IG. 1983. Geological and Genetic Models of porphyry Cu-Mo deposits, Genetic models of endogenic ore-forming formations. Novosibirsk, 1:127 - 135 (in Russian)

Poletaev AI. 1983. Regional position and geology of Aktogai porphyry copper deposits. Geology of Ore deposits, No. 3: 3 - 16 (in Russian)

Popov VS. 1977. Geology and genesis of porphyry Cu-Mo deposits. Moscow, 193 (in Russian)

Popov VS. 1996. Some problems of tectonics, magmatism and metallogeny of Central Kazakhstan. In: Shatov V, Seltmann R, Kremenetsky A, Lehmann B, Popov V and Ermolov P (eds.). Granite-related Ore Deposits of Central Kazakhstan and Adjacent Areas. St Petersburg: Glagol Publ. House, 109 - 118

Qin KZ, Sun S, Chen HH and Hao J. 1999. Temporal-spatial distribution framework of metal deposits in northern Xinjiang: Guides of Paleozoic archipelago-style collision orogenic belts. Chen HH, Hou QL and Xiao WJ (eds.). Collision Orogenic Belts of China. Beijing: China Ocean Press, 183 - 196 (in Chinese with English abstract)

Rekharsky VI and Variyash LKh. 1983. Genesis of copper and molybdium mineralization of porphyry Cu-Mo deposits, Genetic models of endogenic ore-bearing formations. Novosibirsk, 1:127 - 135 (in Russian)

Seitov NS. 1992. Plate Tectonics: Potential sources and Occurrence feature based on data of Ophiolite belt of Kazakhstan. Alma-Ata, 198

Seltmann R and Porter TM. 2005. The porphyry Cu-Au/Mo deposits of Central Eurasia 1. Tectonic, geologic and metallogenic setting, and significant deposits. In: Porter TM (ed.). Super Porphyry Copper and Gold Deposits: A Global Perspective. Adelaide, Australia: PGC Publishing Houese, 2: 467 - 512

Seng r AC, Natalín BA and Burtman VS. 1993. Evolution of the Altaid tectonic collage and Palaeozoic crustal growth in Eurasia. Nature, 364:299 - 306

Serykh VI. 1996. Granitic rocks of Central Kazakhstan. In: Shatov V, Seltmann R, Kremenetsky A, Lehmann B, Popov V and Ermolov P. (eds.). Granite-Related Ore Deposits of Central Kazakhstan and Adjacent Areas. St Petersburg: Glagol Publ. House, 25 - 54

Shatov V, Seltmann R, Kremenetsky A, Lehmann B, Popov V and Ermolov P. 1996. Granite-Related Ore Deposits of Central Kazakhstan and Adjacent Areas. St Petersburg: Glagol Publ. House, 396

Song HX, Liu YL, Qu WJ, Song B, Zhang R and Cheng Y. 2007. Geologican characters of Baogutu porphyry copper deposit in Xinjiang NW China. Acta Petrologica Sinica, 23(8):1981 - 1988 (in Chinese with English abstract)

Sotnikov VI, Kalinin AS and Berzhina AP. 1983. Geological Model of porphyry copper formation, Genetic models of endogenic ore-forming formations. Novosibirsk, 1:127 - 135 (in Russian)

Syromiyatnikov NG and Kolesnikov VV. 1988. Formation Ages of porphyry copper deposits of Kazakhstan based on Pb isotope data from sulfides. Geochemistry, 3 - 14

Wang R and Zhu YF. 2007. The geology of the Baobei Gold deposit in western Juggar and the zircon SHRIMP age of its wall-rocks, Western Junggar (Xinjiang, NW China). Geological Journal of China Universities, 13(3): 590 - 602 (in Chinese with English abstract)

Windley BF, Alexeiev D, Xiao W, Kroner A and Badarch G. 2007. Tectonic models for accretion of the Central Asian Orogenic belt. J. Geol. Soc. London, 164, 31 - 47

Yakubchuk A. 2002. The Baikalide Altaid, Transbaikal Mongolian and North Pacific Orogenic collage: similarities and diversity of structural pattern and metallogenic zoning. In: Blundell DJ, Neubauer F and Von Quadt A (eds.). The Timing and Location of Major Ore Deposits in an Evolving Orogen. Geological Society, London, Special Publications, 204: 273 - 297

Yakubchuk A. 2004. Architecture and mineral deposit settings of the Altaid orogenic collage: A revised model. Journal of Asian Earth Sciences, 23: 761 - 779

Yakubchuk A, Seltmann R, Shatov V and Cole A. 2001. The Altaids: Tectonic evolution and metallogeny. Society of Economic Geologists, Newsletter 46: 7 - 14

Yakubchuk A, Shatov VV, Kirwin D, Edwards A, Badarch G and Buryak VA. 2005. Gold and base metal metallogeny of the Central Asian orogenic supercollage. In: Society of Economic Geologists, 100th Anniversary Volume: 1035 - 1068

Zaitsev YuA. 1984. Evolution of geosynclines (the oval, concentrically - zonal type). Moscow: Nedra Publ. House, 208 (in Russian)

Zhang R, Zhang YX, Tong GS, Wang J and Li LQ. 2006. Major breakthrough in copper exploration in the Baogutu porphyry copper deposit, western Junggar, Xinjiang, and its significance. Geology in China, 33(6): 1354 - 1360 (in Chinese with English abstract)

Zhu YF and Ogasawara Y. 2004. Clinopyroxene phenocrysts (with green salite cores) in trachybasalts: Implications for two magma chambers under the Kokchetav UHP massif, North Kazakhstan. Journal of Asian Earth Sciences 22:517 - 527

Zhu YF and Ogasawara Y. 2002a. Carbon recycled into the deep Earth: Evidenced by dolomite dissociation in subduction-zone rocks. Geology, 30: 947 - 950

Zhu YF and Ogasawara Y. 2002b. Phlogopite and coesite exsolution from super-silicic clinopyroxene. International Geology Review, 44, 831 - 836

Zhu YF, Wang T and Xu X. 2007. Progress of geology study in Xinjiang and its adjacent regions. Acta Petrologica Sinica, 23 (8): 1785 - 1794 (in Chinese with English abstract)

Zhu YF and Xu X. 2006. The discovery of Early Ordovician ophiolite melange in Taerbahatai Mts., Xinjiang, NW China. Acta Petrologica Sinica, 22 (12): 2833 - 2842 (in Chinese with English abstract)

Zhu YF and Xu X. 2007. Exsolution texture of two-pyroxenes in Iherzolite from Baijiangtan ophiolitic melange, western Junggar, China. Acta Petrologica Sinica, 23 (5): 1075 - 1086 (in Chinese with English abstract)

Zhu YF, Zhang LF, Gu LB, Guo X and Zhou J. 2005. The zircon SHRIMP chronology and trace element geochemistry of the Carboniferous volcanic rocks in western Tianshan Mountains. Chinese Science Bulletin, 50: 2201 - 2212

Zhu YF, Zhou J and Zeng YS. 2007. The Tianger (Bingdaban) shear zone hosted gold deposit, west Tianshan, NW China: Petrographic and geochemical characteristics. Ore Geology Review, 32: 337 - 365

Zhu YF, Ogasawara Y and Ayabe T. 2002. The mineralogy of the Kokchetav "lamproite": Implications for the magma evolution. Journal of Volcanology and Geothermal Research 116: 35 - 61

Zhukov NM and Filimonova LE. 1982. Metasomatism and hypogene mineralization of Aktogai porphyry copper deposits. Geology of Ore

Deposits, 2:102 - 110 (in Russian)
Zhukov NM. 1991. Infiltration metasomatism and natural histogram of hydrothermal alteration. Alma-Ata, 215 (in Russian)
Zhukov NM and Gercen LE. 1995. Hydrothermal alteration of porphyry copper deposits in Kazakhstan. Geology of Kazakhstan, No. 29 - 46 (in Russian)
Zhukov NM, Kolesnikov VV, Miroshnichenko LM, Egembayev KM, Pavlova ZN and Bakarasov EV. 1997. Copper deposits of Kazakhstan, Reference Book. Alma-Ata, 149 (in Russian)
Zhukov PK. 1975. Distribution of porphyry copper deposits in the orogenic structure of Northern Balkhash, nonferrous metals and precious metals of Kazakhstan. Alma-Ata: 92 - 99 (in Russian)
Zhukov PK. 1983. Stuctural systems of nonferrous metals in the Kazakhstan. Izvestiya Acad. Sci. USSR, Geol. Series, N 5: 69 - 77 (in Russian)
Zonenshain LP, Kuzmin MI and Natapov LM. 1990. Plate tectonics of the USSR: A plate-tectonic synthesis. Am. Geophys. Union, Geodynamics Series, 21, 242

附中文参考文献

安芳,朱永峰. 2007. 新疆西准噶尔哈图金矿蚀变岩型矿体地质和地球化学研究. 矿床地质,26: 621 - 633
何国琦, 朱永峰. 2006. 中国新疆及其邻区地质矿产对比研究. 中国地质, 33(3): 451 - 460
秦克章,孙枢,陈海泓,郝杰. 1999. 新疆北部金属矿床时空分布格局—古生代多岛海型碰撞造山带的标志. 见:陈海泓等著. 中国碰撞造山带研究. 北京:海洋出版社,183 - 196
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矿床地质特征. 岩石学报,23(8): 1981 - 1988
王瑞, 朱永峰. 2007. 西准噶尔宝贝金矿地质与容矿火山岩的锆石SHRIMP年龄. 高校地质学报,13(3):590 - 602
张锐,张云孝,佟更生,汪疆,李龙乾. 2006. 新疆西准包古图地区斑岩铜矿找矿的重大突破及意义. 中国地质,33(6):1354 - 1360
朱永峰,何国琦,安芳. 2007. 中亚成矿域核心区地质演化与成矿规律. 地质通报,26(9):1167 - 1177
朱永峰,王涛,徐新. 2007. 新疆及邻区地质与矿产研究进展. 岩石学报,23(8):1785 - 1794
朱永峰,徐新. 2006. 新疆塔尔巴哈台山发现早奥陶世蛇绿混杂岩. 岩石学报,22:2833 - 2842
朱永峰,徐新. 2007. 西准噶尔白碱滩二辉橄榄岩中两种辉石的出溶结构及其地质意义. 岩石学报,23(5):1075 - 1086