

文章编号: 1006-6616 (2010) 04-0325-15

# 哈萨克斯坦阿克斗卡超大型斑岩型 铜矿田地质特征与成矿模式

陈宣华<sup>1</sup>, 杨 农<sup>1</sup>, 陈正乐<sup>1</sup>, 韩淑琴<sup>1</sup>, 王志宏<sup>1</sup>, 施 炜<sup>1</sup>, 叶宝莹<sup>2</sup>

(1. 中国地质科学院地质力学研究所, 北京 100081; 2. 中国地质大学(北京), 北京 100083)

**摘 要:** 中亚成矿域巴尔喀什成矿带阿克斗卡矿田主要由阿克斗卡、艾达里和库兹尔基亚等矿床组成, 是发育在火山岛弧环境的典型斑岩型 Cu-Mo-Au 矿床群, 其中阿克斗卡为超大型斑岩铜矿。斑岩型铜成矿作用发生在晚古生代哈萨克马蹄形构造形成过程中, 成矿构造背景为乌拉尔-天山断裂系统的大型左行走滑作用和大陆地壳侧向增生过程, 具有典型的斑岩铜矿围岩蚀变和矿石矿物分带特征; 成矿作用受东西向、北东东向和北西西向断裂控制, 主要与早期碱性阶段的硅化蚀变有关, 酸性蚀变阶段发生了再矿化与富集成矿作用; 据含矿花岗闪长岩中锆石 SHRIMP 定年本文给出主要成矿时代为  $327.5 \pm 1.9$  Ma (早石炭世晚期), 成矿模式为“花岗闪长岩”型, 属于浅成斑岩铜矿成矿系统。

**关键词:** 阿克斗卡; 斑岩型铜矿床; 成因模式; 开发前景

中图分类号: P618.4

文献标识码: A

阿克斗卡 (Aktogai, Aqtogai, Aktogay, Aqtogay, 中文名也译为阿克托、阿克托盖或阿克塔盖) 斑岩型铜矿田 (图 1) 位于哈萨克斯坦塔尔迪库尔干 (Taldy-Korgan) 省 Burlutobinsky 区, 位于巴尔喀什湖东端东北 60 多公里处, 距离阿克斗卡火车站东约 22 km。阿克斗卡铜矿田是中亚成矿域 (或称为古亚洲成矿构造体系<sup>[1]</sup>) 巴尔喀什成矿带 (斑岩铜矿带) 的重要组成部分, 由若干矿床组成, 其中的阿克斗卡铜矿床是一个超大型斑岩型铜矿床。中亚成矿域因其巨量的金属和非金属矿产而闻名于世, 成矿作用极其复杂多样<sup>[2-8]</sup>。其中, 巴尔喀什成矿带是世界上三大斑岩型铜矿带最重要的铜矿区之一。

本文根据野外实地考察和有关文献资料, 对巴尔喀什成矿带阿克斗卡矿田及有关斑岩型铜矿床地质特征、围岩蚀变、矿体分带特征、矿石组成、成矿期次、成矿时代与成矿模式进行了综述, 并对矿床开发前景进行了讨论。

## 1 矿田构造背景与地质特征

阿克斗卡矿田处在中亚成矿域巴尔喀什成矿带斑岩铜矿带西段, 哈萨克斯坦—准噶尔板

收稿日期: 2010-08-09

基金项目: 国家科技支撑计划重点项目 (编号: 2007BAB25B02) 资助。

作者简介: 陈宣华 (1967-), 男, 浙江乐清人, 博士, 研究员, 主要从事构造地质学 (地质力学) 和矿产资源科学研究工作, E-mail: xhchen@cags.ac.cn。

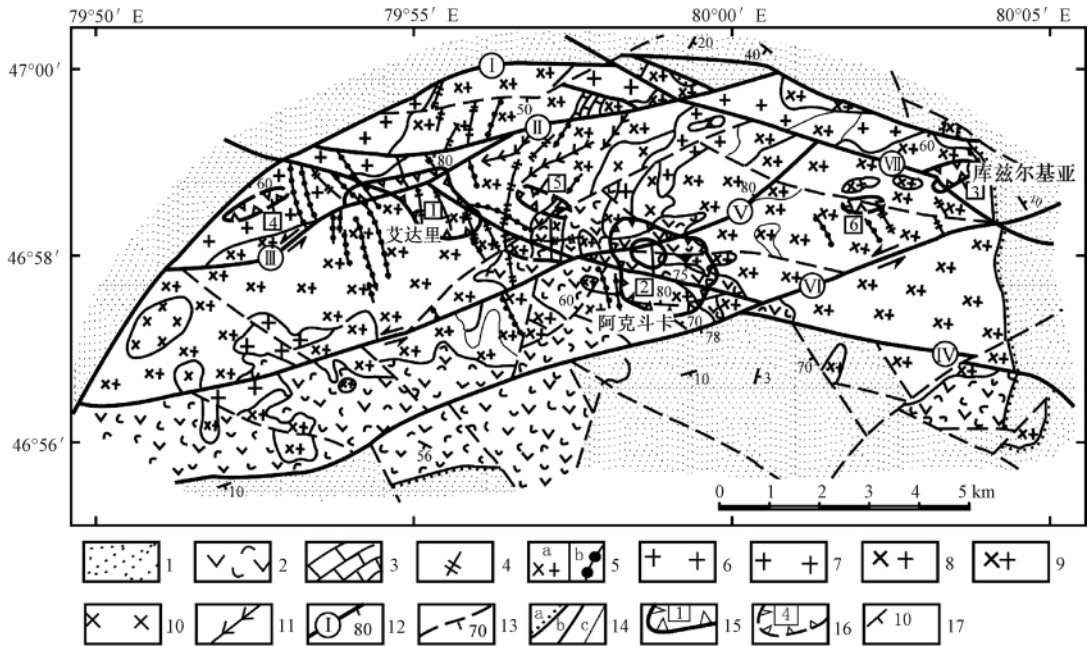


图1 阿克斗卡矿田地质构造简图 (据 Yu. A. Sergiiko et al.; 转引自 Abdulin et al. 1988<sup>[11]</sup>, 有修改)

Fig. 1 Geological sketch map of the Aktogai ore field (after Yu. A. Sergiiko et al.)

1. 上石炭统. 下二叠统科尔达尔 (Koldarskaya) 组沉积岩、凝灰. 沉积岩和少量酸性凝灰岩; 2. 中、上石炭统 Keregetasskaya 组中性和少量酸性火山岩建造及砂岩和粉砂岩; 3. 泥盆系灰岩; 4-10. Koldarskaya 侵入岩体: 4. 花岗闪长斑岩岩墙, 基质主要为霏细质和微嵌晶状, 5. 似斑状花岗闪长岩岩体 (a) 和岩墙 (b), 基质主要为细晶岩及微细晶岩质, 6. 似斑状花岗岩, 基质主要为细晶岩质, 7. 等粒花岗岩, 8. 等粒花岗闪长岩, 9. 粗、中粒似斑状花岗闪长岩, 10. 闪长岩和辉长闪长岩; 11. 基性岩墙; 12. 主要断层及产状: I. 科尔达尔主断层, II. 科尔达尔断层, III. 艾达里断层, IV. 阿克斗卡断层, V. Maly Koldarskiy 断层, VI. Uzhniy Koldarskiy 断层, VII. 伊克巴斯 (Ikbassky) 断层; 13. 其它构造断层及产状; 14. 接触关系: a-不整合, b-侵入, c-整合; 15. 网状脉矿体: (1) 艾达里矿体, (2) 阿克斗卡矿体, (3) 库兹尔基亚矿体; 16. 网状脉状盲矿体: (4) 西部矿体、(5) Promezhutochny 矿体、(6) 东部矿体; 17. 地层产状。

块巴尔喀什—西准噶尔晚古生代 (海西期) 火山岛弧带中国—哈萨克中、晚海西期褶皱带东部, 巴卡纳斯复向斜东段南缘。巴尔喀什成矿带是晚古生代哈萨克马蹄形构造—成矿带的重要组成部分, 是在类似转换断层的乌拉尔—天山断裂系统 (UTSFS) 与 Pai Khoi—戈壁断裂系统 (PKGFS) 构成的左行走滑边界作用下, 哈萨克高地的岩浆弧被向西挤出并与 Mugodzhar-Rudny 阿尔泰弧及东欧克拉通碰撞<sup>[9]</sup>, 同时形成哈萨克马蹄形山系并发生斑岩型铜—钼 (—金) 成矿作用的产物。Bespaev 和 Miroshnichenko 认为其区域地球动力学背景是晚古生代陆缘火山—侵入岩带的前缘部位<sup>[10]</sup>。巴卡纳斯复向斜东西长 190 km, 南北宽约 60 km, 是巴尔喀什石炭—二叠纪火山—侵入杂岩带的主要组成部分, 总体呈向北突出的弧形展布。从深部构造位置分析, 正处于巴尔喀什幔凸东部, 地壳厚度介于 40~45 km 之间。

矿田在空间上处于捷克利—萨雷贾兹南北向断裂、科翁腊德—塔城东西向断裂和库拉马北东向断裂交汇处, 与侵入到海相下、中石炭统 (Keregetas 组) 的科尔达尔 (Koldar) 含基性组分偏高的花岗闪长岩岩体相吻合 (图 1 和图 2)。上覆含植物化石的上石炭统—下二叠统 (下部) 火山—沉积岩地层 (Koldar 组), 厚达 1500 m, 可能为海陆交互相, 主要由安山岩、英安岩、流纹岩及凝灰岩组成<sup>[10, 13-14]</sup>。科尔达尔岩体产于近东西向展布的科尔达尔

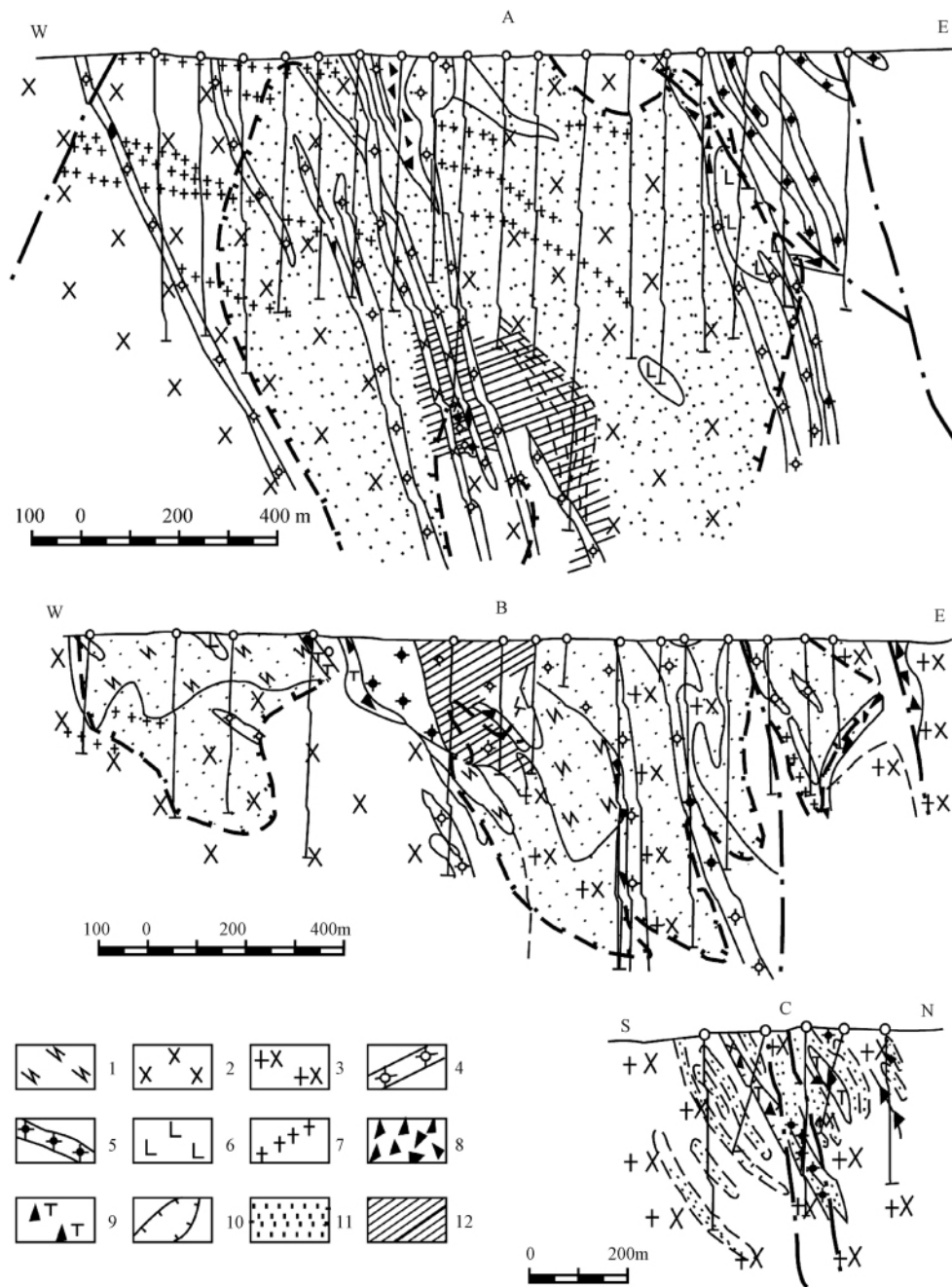


图 2 阿克斗卡矿田斑岩型铜矿床：A-艾达里，B-阿克斗卡，C-库兹尔基亚

(据 Yu. A. Sergiiko et al. 转引自 Abdulin et al. 1998<sup>[11]</sup>)

Fig. 2 Mineral deposits in the Aktogai ore field.

A-Aidarly, B-Aktogai, C-Kyzylkiya (after Yu. A. Sergiiko et al.)

1. 火山—沉积杂岩；2. 闪长岩、石英闪长岩；3. 花岗闪长岩、似斑状花岗闪长岩；4. 花岗闪长斑岩；
5. 斜长花岗斑岩；6. 辉绿岩；7. 花岗岩脉；8. 岩化角砾岩；9. 电气石化胶结角砾岩；10. 网状脉矿体轮廓；11. 矿化矿石；12. 硅化网脉带

地垒状背斜的顶部,呈东西向延伸,长度达 17 km,宽度 4~8 km,出露面积达 72 km<sup>2</sup>。据地球物理资料,深部岩体面积超过 210 km<sup>2</sup>,面积为 4 km<sup>2</sup> 的根部在 4 km 深处;上盘产状较陡,下盘产状在 3 km 处向下开始变缓,在空间上岩体呈一个下细中粗上部较细的葫芦状体,且有向南东侧伏的特点<sup>[11-12]</sup>。

科尔达尔岩体的显著特征是岩石成分变化范围很大,具有连续渐变和互相过渡的岩石系列,形成了一套连续的辉长辉绿岩—辉长闪长岩—闪长岩—石英闪长岩—花岗闪长岩—花岗岩演化序列<sup>[11,15]</sup>,主期为粗晶的似斑状花岗闪长岩和花岗岩<sup>[10]</sup>。岩体东部主要由偏酸性的花岗闪长岩组成。岩体内部断裂发育,主要有 NWW 向、近 SN 向和 NEE 向。主要矿体沿 NWW 向断裂分布,见于 NWW 与 NEE 向断裂构造交汇处(图 1)。脉岩和小的侵入体主要为石英斑岩和英安斑岩、斜长花岗斑岩、闪长玢岩和辉绿玢岩、花岗闪长斑岩,为晚期中浅成侵位产物。它们在平面上形成了一个形态奇特、穿透侵入岩体的大型筒状体。构造角砾岩既没有被错移,也没有被混合化,或只有轻微的混合化<sup>[11,15]</sup>。

矿田中的斑岩铜矿床主要赋存在两个线性构造中,即长期发育的 NWW 阿克斗卡断层和伊克巴斯断层中,并受 NEE 向断层的改造(图 1)。NWW 向、近 SN 向和 NEE 向大断距的断层使矿田的构造呈断块状。构造角砾岩是阿克斗卡断层所具有的特征,矿田中角砾岩带总是与断层相伴生,并具有隐爆的性质。矿化主要出现在花岗闪长岩、闪长岩和角岩化 Keregetas 组岩石中。

## 2 主要矿床地质特征

阿克斗卡矿田共产出三个斑岩型 Cu-Mo-Au 矿床(图 1 和图 2),即阿克斗卡、艾达里(也称为艾达尔雷、安达雷、阿伊达尔雷,英文名为 Aidarly 或 Aidarlei)和库兹尔基亚(也称为克孜勒基亚、库兹尔卡,英文名为 Kyzylkia 或 Kyzilkia)斑岩型铜矿床,其中阿克斗卡是最大的一个矿床。它们都是根据电法测量圈出的硫化物矿化晕,然后根据钻探资料确定网脉状矿体。另外,还有一系列小的铅锌矿点和三个通过钻孔揭示的 300 m 深处网脉状盲矿体。

### 2.1 阿克斗卡矿床地质特征

阿克斗卡矿田的矿化作用主要赋存在呈岩株状产出的阿克斗卡花岗闪长斑岩体内(图 1、图 2 和图 3),构成阿克斗卡斑岩型铜矿床。花岗闪长斑岩也侵入到 Koldar 侵入体的闪长岩、石英闪长岩和花岗闪长岩之中;同时,花岗闪长斑岩又被细长的含矿花岗闪长岩和斜长花岗斑岩网脉所侵入,并伴随有一系列含有石英—黑云母和绢云母—电气石基质的爆破角砾岩岩筒<sup>[13-14]</sup>。

#### 2.1.1 围岩蚀变与成矿阶段

除了晚期基性岩墙之外,矿区所有岩石均已蚀变。赋矿岩体具有明显的蚀变分带,从岩体中心向围岩依次为硅化带—钾长石化带—绢云母化带—绿泥石化带。此外,还发育有黑云母化、黄铁绢英岩化、青磐岩化、硬石膏化等围岩蚀变<sup>[15]</sup>。

矿床具有 4 个热液蚀变与成矿阶段(图 4),每个阶段具有不同的蚀变类型与矿石矿物组合<sup>[10-15]</sup>: ①早期碱性阶段,蚀变类型为硅化、正长石化、黑云母化、绿泥石化和葡萄石化,矿物组合为葡萄石—黑云母—钾长石—石英—硫化物; ②酸性阶段,发育硅化、绢云母化、绿泥石化和碳酸盐化蚀变,矿物组合为绢云母—石英—硫化物; ③硼铝硅酸盐阶段,发

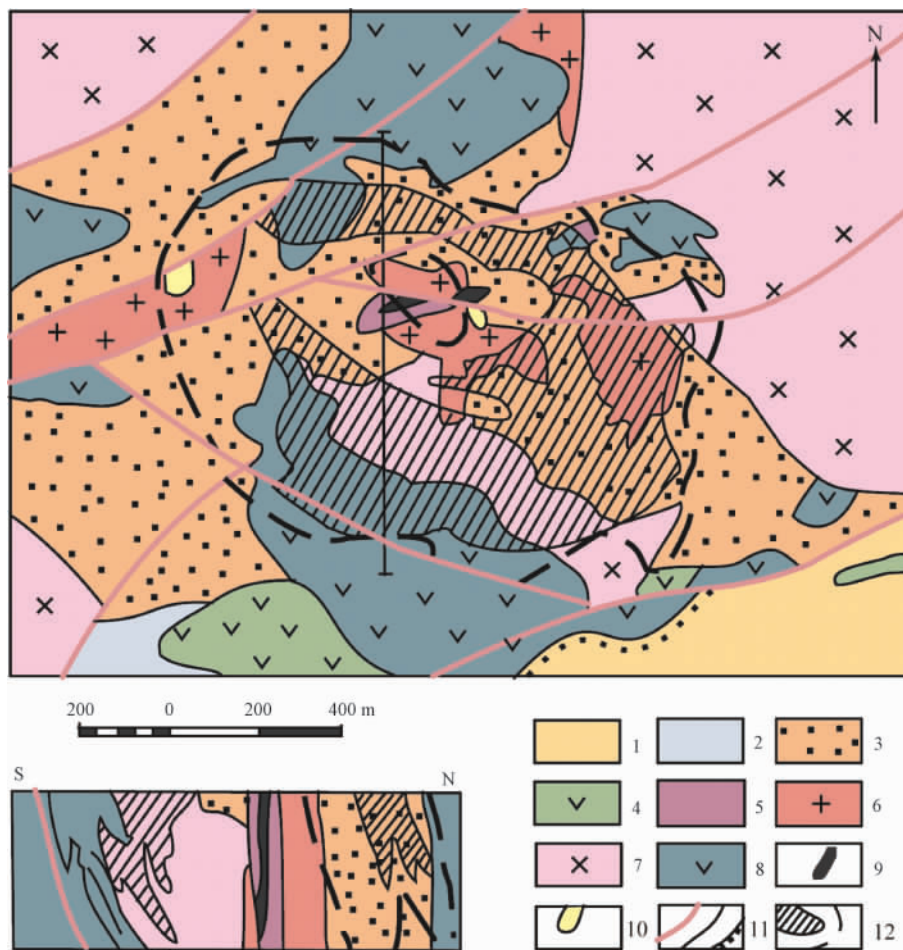


图3 阿克斗卡矿床地质构造简图 (据 Bespaev and Miroshnichenko, 2004<sup>[10]</sup>)

Fig. 3 A map showing geological structure of the Aktogai deposits (after Bespaev and Miroshnichenko, 2004<sup>[10]</sup>)

1. 科尔达尔 (Koldar) 组砂岩、砾岩夹流纹质和英安质凝灰岩; 2. Keregetas 组英安质和安山-英安质凝灰岩; 3. 角岩、角岩化斑岩和 Keregetas 组凝灰岩; 4. 安山-英安斑岩网脉和岩脉; 5-8. 科尔达尔岩体: 5. 具霏细岩质和微嵌晶状基质的花岗闪长斑岩; 6. 斑状花岗岩和花岗闪长岩, 具细晶状基质; 7. 均质花岗闪长岩; 8. 闪长岩、辉长-闪长岩; 9. 电气石胶结的爆破角砾岩; 10. 石英岩; 11. 构造、侵入和不整合接触; 12. 矿体和浸染状矿化体的边界。

育电气石化蚀变, 矿物组合为电气石—硫化物; 和④晚期碱性 (青磐岩化) 阶段: 晚期碱性蚀变表现为不连续的窄条带, 发育碳酸盐化、沸石化、葡萄石化和绿泥石化蚀变, 矿物组合为绿帘石—绿泥石—葡萄石及碳酸盐—沸石; 青磐岩化蚀变晕圈出现在斑岩铜成矿系统的外围, 含有绿帘石—角闪石和钠长石—绿泥石—葡萄石组合。前两个阶段对于矿床的形成最为重要, 因为主要的矿化作用发生在早期碱性硅化蚀变阶段, 硅化蚀变强度决定了矿体的形态和大小。酸性阶段, 除了导入新的成矿物质外, 还导致已有矿石的再矿化并形成最富的矿石。后两个阶段实际上没有成矿物质的沉淀。

早期碱性阶段形成的交代蚀变岩具有明显的同心环状分带, 即从矿床中心到边缘依次分布石英、钾长石→黑云母、石英、钾长石→黑云母。其外带由黑云母化和钠长石化岩石组成, 内带主要由钾长石化和硅化岩石组成, 硅化向中心变强, 形成纯石英岩核心。矿体严格分布在黑云母化和钠长石化岩石被石英和钾长石置换的过渡带内<sup>[10-11, 15]</sup>。黄铜矿、辉铜矿

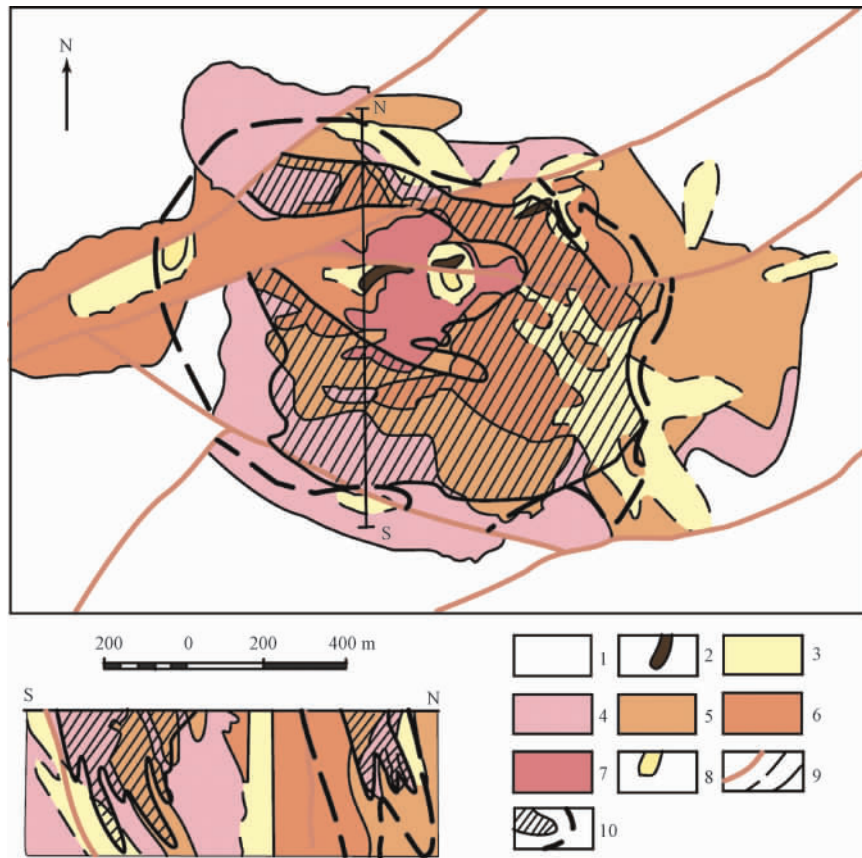


图4 阿克斗卡矿床热液蚀变岩分布 (据 Bespaev and Miroshnichenko, 2004<sup>[10]</sup>)

Fig. 4 Distribution of hydrothermally altered rocks of the Aktogai deposits

(after Bespaev and Miroshnichenko, 2004<sup>[10]</sup>)

1. 未蚀变岩石; 2. 电气石胶结的爆破角砾岩; 3. 酸性阶段热液蚀变岩: 石英—绢云母蚀变, 部分绢云母化和绿泥石化岩石; 4-8. 碱性阶段蚀变岩: 4. 黑云母化和钠长石化岩石; 5. 黑云母化和钾长石化蚀变岩; 6. 中长度长石化岩石; 7. 强烈钾长石化蚀变和硅化; 8. 石英岩; 9. 构造边界, 酸性和碱性阶段热液蚀变岩界线; 10. 矿体和浸染状矿化体的边界。

与葡萄石及石英—钾长石脉相伴生, 浸染状磁铁矿和黄铁矿通常与暗色铁镁硅酸盐矿物相伴生, 辉钼矿与葡萄石的关系不是很密切<sup>[10]</sup>。

酸性阶段蚀变作用在碱性硅酸盐蚀变核的外围形成透镜状蚀变体。酸性阶段交代蚀变岩的分带不是很明显: 中心为石英—绢云母蚀变岩, 向外围变化为绢云母化、绿泥石化和方解石化蚀变岩<sup>[10-11, 15]</sup>。

蚀变岩石化学与气液流体包裹体成分、温度指示了成矿溶液从热液蚀变系统的中心向边缘的迁移(图5)。中心蚀变带气液包裹体成分反映了早期成矿溶液的成分, 外围蚀变带包裹体则反映了热液系统中“废”液的成分。在早期碱性和酸性蚀变阶段, Si、K、Cu、Mo为斑岩成矿系统的导入元素, Na、Ca、Pb为导出元素。而Al、Fe、Mg、Zn、Co为活化元素, 从成矿系统的最内部迁出, 部分再沉淀在成矿系统的前锋带。S也是大量导入的元素。SiO<sub>2</sub>在成矿系统核部的沉淀与在边部的浸出量相平衡<sup>[10]</sup>。

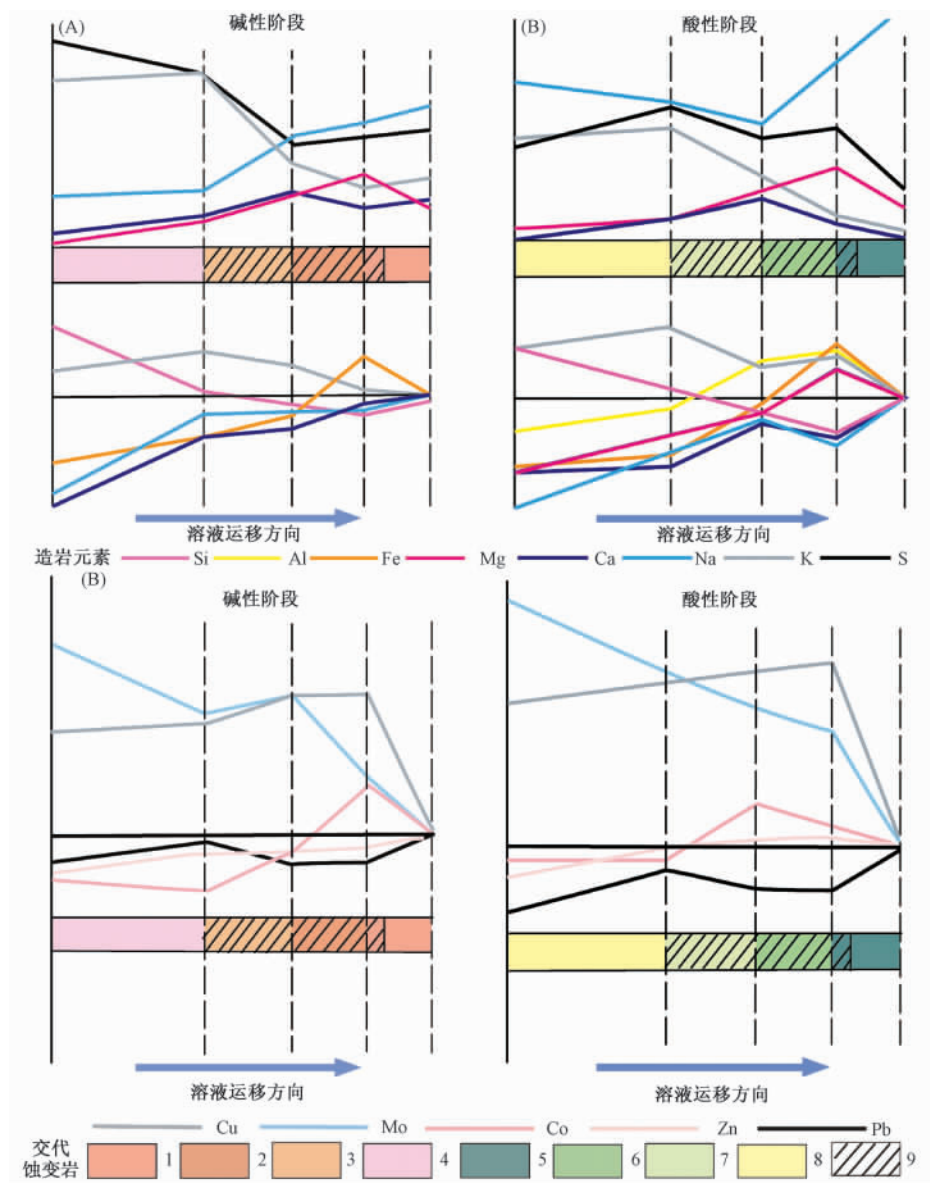


图5 阿克斗卡矿床热液蚀变岩石 (A 下) 和气—液包裹体 (A 上) 造岩元素含量的相对变化, 以及热液蚀变岩中成矿元素含量的相对变化 (B) (据 Bespaev and Miroshnichenko, 2004<sup>[10]</sup>)

Fig. 5 Changes of content of rock-forming elements in hydrothermally altered rocks (below) and gaseous-liquid inclusions (above), and of ore-forming elements in hydrothermally altered rocks (right) of the Aktogai deposit (after Bespaev and Miroshnichenko, 2004<sup>[10]</sup>)

交代蚀变岩: 1-4. 碱性阶段: 1. 黑云母化岩石; 2. 黑云母化和钾长石化蚀变岩; 3. 中度钾长石化蚀变; 4. 强烈钾长石化蚀变和硅化; 5-8. 酸性阶段: 5. 绿泥石化和方解石化岩石; 6. 绢云母化和绿泥石化岩石; 7. 石英—绢云母—绿泥石化蚀变; 8. 石英—绢云母化蚀变; 9. 矿化。

### 2.1.2 矿体分带特征与矿石矿物组合

阿克斗卡斑岩型铜矿床产在闪长岩和花岗闪长岩岩体中, 含矿网脉主要出现在花岗闪长斑岩体的外接触带, 其外围为主要由流纹岩—英安岩组成的沉积—火山岩层。网状脉矿体出

露地表(图2),呈倒转、厚壁的椭圆锥体(主要与早期碱性成矿阶段有关),含有一个无矿的内核。矿体向下发生尖灭并开裂成一连串的锥状分支矿脉,并可追踪到超过800 m深度。矿体规模巨大,平面上呈椭圆环状的网状脉,其长轴延伸方向为W-NW向,最长轴约2500 m,宽50~830 m<sup>[11,13-15]</sup>。网脉的中心为具有霏细岩和微嵌晶状基质的花岗闪长斑岩,最中心为烟囱状的电气石胶结爆破角砾岩筒(图3)<sup>[10]</sup>。

早期碱性阶段的矿石产物和交代蚀变岩的分带性具有同样的化学演化方向性<sup>[10,13]</sup>,表现在从矿床边缘到中心金属矿物依次为磁铁矿→黄铁矿→黄铜矿→斑铜矿→辉铜矿,矿石和蚀变硅酸盐的铁含量从边缘到中心呈减少趋势。其中,外带(黑云母化带)出现有磁铁矿和黄铁矿,内带出现有斑铜矿和辉铜矿。

酸性阶段交代蚀变岩的分带性不如碱性阶段的明显,最富的矿石均产在石英—绢云母化带内,为致密浸染状黄铁矿、少量辉钼矿和局部形成的闪锌矿、方铅矿。铜矿物主要出现在部分绢云母化带内,而在完全绢云母化的岩石中很少产出<sup>[10]</sup>。

阿克斗卡矿床铜矿化和钼矿化叠置在一起,而铅—锌矿化只局限在矿体翼部的碳酸盐化带内<sup>[13]</sup>。铜的含量相对于网脉体的理想轴面向网脉体的内界面和外界面方向呈有规律地降低,钼矿化具有类似的分布。最大铜矿化和最大钼矿化在空间上非常一致。从无矿的内核到外围的网状脉,黄铁矿含量不断增加,网状脉与外围的黄铁矿层交织在一块。在同一方向上,铜的矿物形式也发生了变化,即从高铁或不含铁的低硫矿物,变化为含铁的高硫矿物(深成辉铜矿和斑铜矿—黄铜矿—含铜黄铁矿)。网状脉矿体的平均S:Cu比值为2:1,而Cu:Mo比值为42:1<sup>[11]</sup>。仅在网状脉矿体的外界发育了不具经济价值的铅和锌矿化作用<sup>[15]</sup>。

阿克斗卡矿床主要矿石矿物有黄铜矿、黄铁矿、磁铁矿和辉钼矿,次要矿物有钛磁铁矿、假像磁铁矿(mushketovite)、白铁矿、磁黄铁矿、斑铜矿、辉铜矿和闪锌矿,微量矿物有钛铁矿、磁赤铁矿(maghemite)、假像赤铁矿、方铅矿、黝铜矿、斜方硫砷铜矿和自然金等<sup>[11,15]</sup>。矿物生成顺序为:①磁铁矿;②磁黄铁矿—方黄铜矿;③石英—黄铁矿;④石英—(磁铁矿)—斑铜矿—黄铜矿;⑤石英—辉钼矿—黄铁矿—黄铜矿;⑥石英—(黄铁矿)—斑铜矿—黄铜矿—辉铜矿;⑦石英—绢云母—黄铁矿;⑧石英—方铅矿—闪锌矿—黄铜矿—黄铁矿—砷黝铜矿;⑨成矿期后沸石—碳酸盐<sup>[13]</sup>。脉石矿物主要有石英、钾长石、黑云母、绿泥石、绢云母、钠长石等。

## 2.2 艾达里矿床地质特征

艾达里矿床位于阿克斗卡矿床WNW方向约4 km处,为一大型斑岩型铜矿床,整个地处在花岗闪长岩(属于Koldar岩体)中(图6),其中心为北西向延伸的含矿花岗闪长斑岩岩脉。花岗闪长斑岩的附近发育一些小的爆破角砾岩岩筒,由矿化岩石碎块和岩粉基质组成<sup>[13]</sup>。在地表表现为弱的褐铁铁矿化带,并在蚀变闪长岩、花岗闪长岩和花岗岩中发育有不连续的孔雀石—硅孔雀石矿石。同时,广泛发育大量的多期次花岗闪长斑岩、斜长花岗斑岩和细粒花岗岩脉岩,以及辉绿岩岩体和岩墙。

在略微向SE倾斜的椭圆状矿体的上部发育了最多的网状脉体,而椭圆状矿体的内部是一个无矿的强烈硅化内核,由于剥蚀而出露地表<sup>[10]</sup>,深度超过600 m。网状脉体的水平切面具有椭圆形态,其长轴走向为NW向。多支网脉状矿体构成了一个成矿综合体,由于大型构造断层的作用而变得更加复杂。部分网状脉矿体已经被抬升,并沿艾达里断层向WSW方向位移了1000 m以上<sup>[11,15]</sup>。

艾达里网状脉矿体的内部构造和蚀变分带类似于阿克斗卡<sup>[10]</sup>,即从无矿内核向外围,



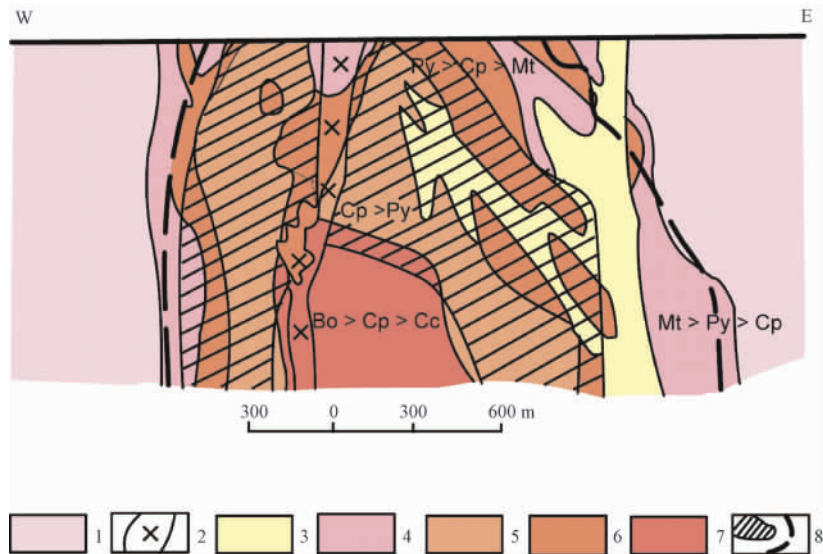


图6 艾达里矿床剖面图 (据 Bespaev and Miroshnichenko, 2004<sup>[10]</sup>)

Fig. 6 Section of the Aidarly deposits (after Bespaev and Miroshnichenko, 2004<sup>[10]</sup>)

1. 未蚀变花岗闪长岩; 2. 花岗闪长斑岩; 3. 酸性阶段热液蚀变岩: 石英—绢云母交代蚀变岩, 部分为绢云母化和绿泥石化蚀变岩; 4-7. 碱性阶段热液蚀变岩: 4. 绿泥石化和绿帘石化花岗闪长岩; 5. 绿泥石化和钾长石化蚀变岩; 6. 中度钾长石化蚀变岩; 7. 强烈钾长石化和硅化蚀变岩; 8. 矿体和浸染状矿化体的边界。

铜矿化及空间上附属的钼矿化强度不断增强。碱性热液成矿阶段形成的无矿石英内核的周围被硬石膏细脉和结核(囊)所环绕<sup>[13]</sup>; 在靠近核部的地方, 硬石膏含量增加至岩石总体积的25%<sup>[11, 15]</sup>。在矿床的南部, 硬石膏出现在较深的部位。在硬石膏强烈发育的部位, 出现磁铁矿与葡萄石—黄铜矿组合的共生<sup>[10]</sup>。与阿克斗卡不同, 艾达里铜钼矿化强度的峰值部位靠近网脉状矿体的外部, 其外围为一个更厚更密集的黄铁矿层(强黄铁矿化晕), 可能形成于碱性阶段<sup>[10]</sup>。实际上, 无矿核部区没有出现黄铁矿。多金属矿化作用主要出现在网状脉矿体的外部接触带, 也可出现在黄铁矿层, 有时甚至出现在黄铁矿层之外。艾达里的铜钼多金属矿化作用表现得比阿克斗卡更强<sup>[11, 15]</sup>。

艾达里矿床的矿体主要为Cu-Mo网脉, 集中在早期钾化(碱性蚀变)带内<sup>[13]</sup>。铜矿化作用具有高度连续性, 仅被各种不同成分的脉岩穿插。筒状的花岗闪长斑岩岩体也具有与600~700 m深处花岗闪长岩相同的矿化程度。矿化作用一直连续延伸到1300 m以深, 网脉状矿体平均S: Cu和Cu: Mo比值分别为4.5: 1和35: 1<sup>[11]</sup>。

艾达里矿床在成矿作用和围岩蚀变的大多数方面与阿克斗卡矿床基本一致, 包括矿石矿物组合。但是, 与阿克斗卡矿床不同, 艾达里矿床在斑岩成矿系统的外围发育了更为广泛的多金属(Pb-Zn)细脉—脉矿化带<sup>[13]</sup>。

### 2.3 库兹尔基亚矿床地质特征

库兹尔基亚斑岩型铜矿床位于矿田东部, 在阿克斗卡矿床以东约4 km, Cu-Mo矿化产在被小的花岗闪长岩侵入的蚀变花岗闪长岩(属于Koldar岩体)中, 呈一系列陡倾的、近东西向分布的浸染状和细脉浸染状黄铜矿—斑铜矿—辉铜矿矿化带, 呈雁列状分布, 以及较弱的黄铁矿化带, 为一中小型斑岩铜矿床。与阿克斗卡类似, 库兹尔基亚的脉状岩石也有较

少量的分布,并且矿化面积随深度增加而减少。网状脉矿体的外围发育了铅锌矿化,但不是很显著。S:Cu 比值为0.9:1, Cu:Mo 比值超过100:1<sup>[11,15]</sup>。库兹尔基亚矿床的矿石矿物组合与阿克斗卡矿床基本一致。

### 3 矿床成因模式

#### 3.1 矿床地球化学模式

阿克斗卡斑岩型铜矿床的地质—地球化学模式如图7所示。这一模式不仅从地球化学角度,而且从岩浆侵位成矿的角度,对阿克斗卡超大型斑岩型铜矿床的地球化学特征作了比较深入的阐述和说明。

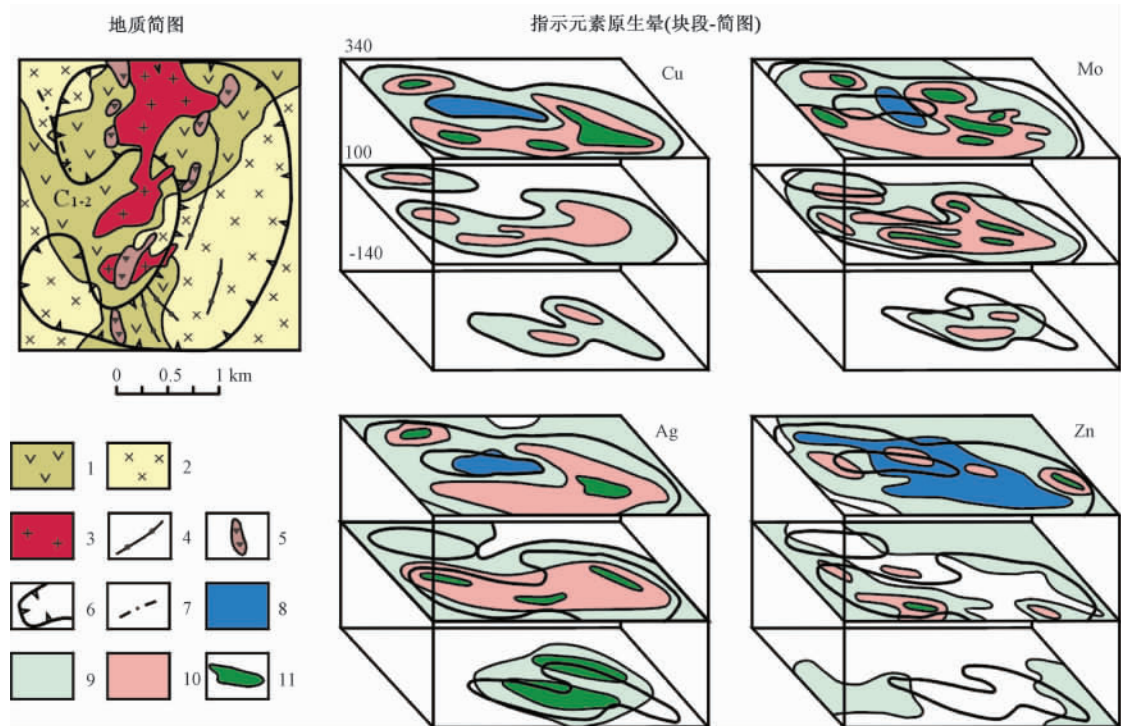


图7 阿克斗卡斑岩铜矿床地质—地球化学模式

(据 Сергийко Ю. А, Ивдев Р. Р et al., 2002; 转引自刘春涌, 2005<sup>[12]</sup>)

Fig. 7 Geological and geochemical model of the Aktogai porphyry copper deposit

(after Сергийко Ю. А, Ивдев Р. Р et al., 2002)

1. 安山岩、安山—英安岩 (C2-1); 2-3. 科尔达尔侵入杂岩: 2. 花岗闪长岩; 3. 花岗闪长玢岩; 4. 辉绿岩、辉绿玢岩岩墙; 5. 爆发角砾岩; 6. 矿体轮廓; 7. 断裂; 8-11. 地球化学元素含量 (Cu, Mo, Ag; Zn  $\times 10^{-6}$ ): 8. Cu < 10, Mo < 10, Ag < 0.3, Zn < 0.01; 9. Cu 10 ~ 30, Mo 10 ~ 30, Ag 0.3 ~ 1.0, Zn 0.01 ~ 0.03; 10. Cu 30 ~ 50, Mo 30 ~ 100, Ag 1.0 ~ 2.0, Zn 0.03 ~ 0.1; 11. Cu 50 ~ 150, Mo 100 ~ 300, Ag 2.0 ~ 5.0, Zn 0.1 ~ 0.5

#### 3.2 成矿深度、成矿温度与剥蚀程度

阿克斗卡三个斑岩铜矿床的成矿深度为700~2700 m<sup>[16]</sup>。流体包裹体研究给出阿克斗卡矿床早期石英—钾长石细脉的形成温度为490~320℃,而后来的硫化物—石英细脉形成于320 to 180℃<sup>[13]</sup>。相对于成矿阶段的古地表,估算的剥蚀深度分别为:艾达里矿床1000~

1500 m、阿克斗卡矿床 1500 ~ 2000 m、库兹尔基亚矿床为 2500 m 以深<sup>[16]</sup>, 反映了阿克斗卡矿田东部剥蚀深, 向西剥蚀深度变浅。

### 3.3 岩浆活动与成矿时代

由于对赋矿的科尔达尔岩体的时代认识不一, 包括有中、晚石炭世和早二叠世两种看法, 因此, 对阿克斗卡矿田斑岩型铜矿床成矿时代的认识也不一致<sup>[15]</sup>, 成矿时代被认为介于 354 Ma ~ 312 Ma 之间<sup>[17]</sup>。

阿克斗卡矿床具有下地壳包体的早期花岗岩类 Rb-Sr 全岩等时线年龄为  $366 \pm 10$  Ma ~  $346 \pm 20$  Ma, 矿物等时线年龄为  $332 \sim 319 \pm 15$  Ma, 初始  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  为  $0.70345 \pm 8$ <sup>[18-19]</sup>。其中一个岩体中暗色包体的 Sm-Nd 矿物等时线年龄为  $359 \pm 43$  Ma, 初始  $\epsilon\text{Nd}$  为  $5.9$ <sup>[20]</sup>。

根据本课题组阿克斗卡矿床及附近有关花岗岩类的锆石 SHRIMP 定年结果, 科尔达尔岩体早期石英闪长岩的结晶年龄为  $335.7 \pm 1.3$  Ma, 主成矿期的含矿花岗闪长斑岩 (铜含量为 1.97‰) 结晶年龄为  $327.5 \pm 1.9$  Ma, 反映了阿克斗卡矿床斑岩型铜成矿作用的年龄为  $327.5 \pm 1.9$  Ma。

### 3.4 矿床成因模式

阿克斗卡矿田三个斑岩型铜矿床可能属于相同类型的斑岩铜矿—岩浆系统, 根据其围岩蚀变和矿物分带, 可以归纳为 Krivtsov (1983)<sup>[21]</sup>的“花岗闪长岩”模式<sup>[13]</sup>。它们所处的大地构造背景及广泛发育的典型围岩蚀变, 均与北美—南美西部山链的中生代经典斑岩型铜矿床类似<sup>[19]</sup>。

阿克斗卡矿田斑岩型矿床的成矿作用主要是地表水与岩浆水 (含挥发份) 之间混合的结果; 并受到围绕冷却侵入体的对流循环作用的调节 (图 8)<sup>[10]</sup>。斑岩铜成矿作用的强度主要决定于围岩成分与热液蚀变之间的化学差异, 最富的矿化出现在近地表的斑岩系统之中, 成矿金属量决定于成矿深度<sup>[10]</sup>。

## 4 矿床储量、开发现状与前景

阿克斗卡矿田铜矿床已经过精细勘查, 铜、钼、硫、金、银、铼、硒储量已通过国家储量委员会批准, 被认为是经济可用的; 现今仍为储备资源。矿田远景区非常有限, 仅限于网脉状盲矿体的延伸。阿克斗卡矿床和艾达里矿床储量较大, 而库兹尔基亚矿床具有中型规模。

阿克斗卡矿田的成矿作用以铜为主, 并伴有钼、金、银、铅、锌等诸多有益元素, 部分元素已成矿, 形成矿化或矿体, 可综合利用。矿石主要是铜—钼矿石, 铜含量可达 1% 以上, 阿克斗卡矿床为平均 0.39%, 艾达里为平均 0.38%。钼含量在 0.002% 至 0.17% 之间, 平均约为 0.01%。除了铜和钼之外, 铼含量也较高 (为 0.007 ~ 2.2 g/t, 平均 0.24 g/t), 特别是在辉钼矿中。辉钼矿中铼的含量在 177 g/t 至 2040 g/t 之间。硒含量为 1 ~ 10 g/t, 平均为 1.8 g/t; 主要赋存于黄铜矿、黄铁矿、辉钼矿和斑铜矿中。金含量为 0.007 ~ 0.40 g/t, 主要赋存在黄铁矿、黄铜矿、辉钼矿和磁铁矿中。银的含量为 0.25 ~ 3.6 g/t, 平均为 1.8 g/t。此外还有较高含量的锌、铅、铋、锗、镓、铟、铊和钴。在一些单矿物样品中, 出现较高的铂 (约 0.05 g/t) 和钨 (黄铁矿中为 0.018 g/t, 黄铜矿中为 0.036 g/t)<sup>[11, 15]</sup>。

阿克斗卡斑岩型铜矿床铜储量为 588.0 万吨铜 (品位 0.385% Cu)<sup>[12]</sup>, 伴生钼储量为 12.1 万吨钼 (品位 0.008% Mo)。艾达里斑岩型铜矿床伴生 15.0 万吨钼 (品位 0.01%

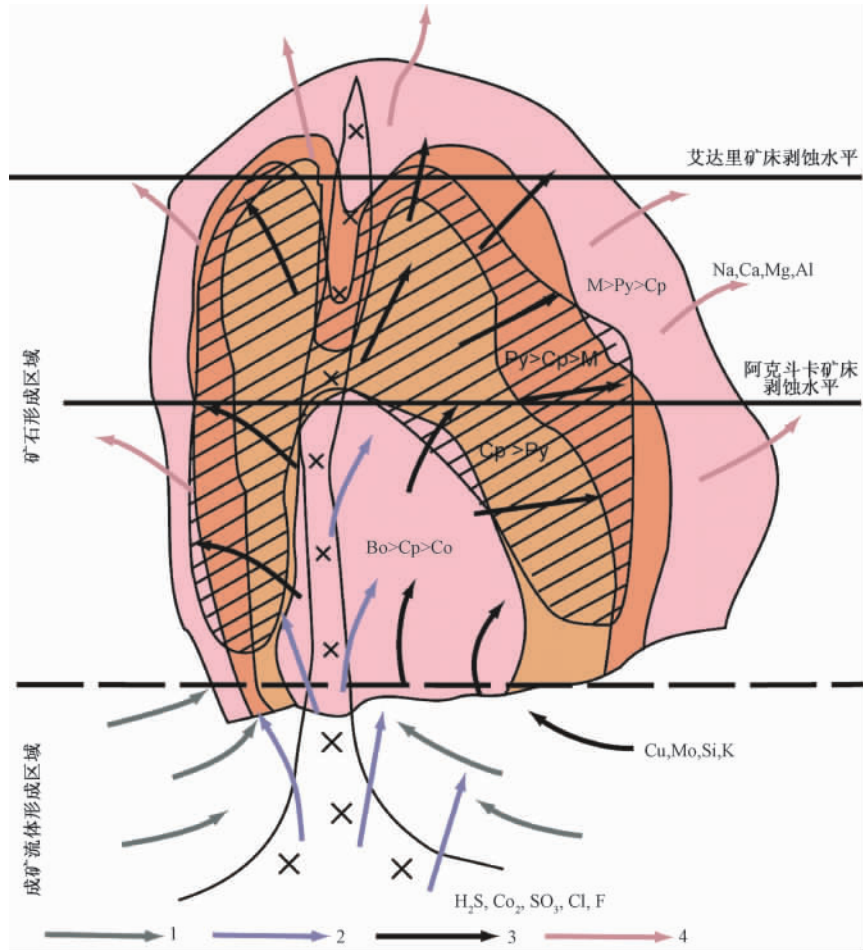


图8 阿克斗卡矿田斑岩型矿床成因模式 (据 Bespaev and Miroshnichenko, 2004<sup>[10]</sup>)

Fig. 8 Forming model of the deposits in the Aktogaiskoye ore field (after Bespaev and Miroshnichenko, 2004<sup>[10]</sup>)

1. 含金属的地下水; 2. 侵入过程中释放的岩浆气体; 3. 成矿溶液; 4. “废”溶液。

Mo)。阿克斗卡矿田的矿石可通过富集而达到独联体 (CIS) 及任何地区标准, 通过富集到 86.82 ~ 89.40%, 铜的回收率为 15.09 ~ 15.51%<sup>[11]</sup>。阿克斗卡矿田铜矿石资源量超过 2.5 Gt, 铜金属资源量超过 1000 万吨, 金的资源量接近 60 吨<sup>[14]</sup>。

2003 年, 哈萨克斯坦共和国政府通过了西方矿业公司参与阿克斗卡超大型斑岩型铜矿床商业开发前的可行性论证, 并在近期内采用新的开采—冶金工艺进行商业性开发。目前, 阿克斗卡铜矿床由哈萨克矿业公司 (Kazakhmys) 开采, 年产铜能力为 15 万吨。阿克斗卡特大型斑岩型铜矿床开采后, 将会给哈萨克斯坦带来巨大的经济效益, 对中亚铜矿市场产生重要影响, 也给世界制铜工业增添一处重要的原料供应地。

## 5 结论

中亚成矿域巴尔喀什成矿带阿克斗卡铜矿田主要由超大型阿克斗卡、艾达里和库兹尔基亚等矿床组成, 斑岩型铜成矿作用发生在晚古生代哈萨克马蹄形构造形成过程中, 成矿构造

背景为乌拉尔—天山断裂系统的大型左行走滑作用和大陆地壳侧向增生过程, 矿床类型为斑岩型 Cu-Mo-Au 矿床, 具有典型的斑岩铜矿围岩蚀变和矿石矿物分带特征, 成矿作用受东西向和北东向断裂控制, 据含矿花岗闪长岩中锆石 SHRIMP 定年本文给出成矿时代为  $327.5 \pm 1.9$  Ma (早石炭世晚期), 成矿模式为“花岗闪长岩”型, 属于浅成斑岩铜矿成矿系统。

野外工作得到新疆维吾尔自治区国家 305 项目办公室和哈萨克斯坦萨特巴耶夫地质科学研究所别斯帕耶夫博士、埃里诺拉·西姆拉托娃博士和西尔班·佳克巴娃等的支持与协助, 在此表示感谢。

## 参 考 文 献

- [1] 陈宣华, 陈正乐, 杨农. 区域成矿与矿田构造研究: 构建成矿构造体系 [J]. 地质力学学报, 2009, 15 (1): 1~15.  
CHEN Xuanhua, CHEN Zhengle, YANG Nong. Study on regional mineralizations and ore-field structures: bring on the building of mineralizing tectonic systems [J]. Journal of Geomechanics, 2009, 15 (1): 1~15 (in Chinese with English abstract).
- [2] 何国琦, 朱永峰. 中国新疆及其邻区地质矿产对比研究 [J]. 中国地质, 2006, 33 (3): 451~460.  
HE Guo-qi, ZHU Yong-feng. Comparative study of the geology and mineral resources in Xinjiang, China, and its adjacent regions [J]. Geology in China, 2006, 33 (3): 451~460 (in Chinese with English abstract).
- [3] 朱永峰, 何国琦, 安芳. 中亚成矿域核心地区地质演化与成矿规律 [J]. 地质通报, 2007, 26 (9): 1167~1177.  
ZHU Yongfeng, HE Guoqi, AN Fang. Geological evolution and metallogeny in the core part of the Central Asian metallogenic domain [J]. Geological Bulletin of China, 2007, 26 (9): 1167~1177 (in Chinese with English abstract).
- [4] 陈宣华, 王志宏, 杨农, 等. 中亚巴尔喀什成矿带萨亚克大型铜矿田矿床地质特征与成矿模式 [J]. 地质力学学报, 2010, 16 (2): 189~202.  
CHEN Xuanhua, WANG Zhihong, YANG Nong, et al. Geological Characteristics and Metallogenic Model of Large-scale Sayak Skarn Copper Ore Field, Balkhash Metallogenic Belt, Central Asia [J]. Journal of Geomechanics, 2010, 16 (2): 189~202.
- [5] 韩淑琴, 陈宣华, 杨农, 等. 哈萨克斯坦科翁腊德斑岩型铜矿地质特征与成矿模式 [J]. 地质力学学报, 2010, 16 (2): 203~212.  
HAN Shuqin, CHEN Xuanhua, YANG Nong, et al. Geological characteristics and metallogenic model of super-large Kounrad porphyry copper deposit, Kazakhstan [J]. Journal of Geomechanics, 2010, 16 (2): 203~212.
- [6] 王志宏, 陈宣华, 杨农, 等. 巴尔喀什成矿带奎干—玛依布拉克斑岩型铜矿区矿床地质特征与开发前景分析 [J]. 地质力学学报, 2010, 16 (2): 213~222.  
WANG Zhihong, CHEN Xuanhua, YANG Nong, et al. The geological characteristics and development prospects of deposits in Kuigan-Maibulak copper ore region in Balkhash metallogenic belt [J]. Journal of Geomechanics, 2010, 16 (2): 213~222.
- [7] 赵恒乐, 陈宣华, 屈文俊, 等. 巴尔喀什成矿带博尔雷斑岩铜矿床地质特征与成矿时代 [J]. 地质力学学报, 2010, 16 (4): 340~348.  
ZHAO Hengle, CHEN Xuanhua, QU Wenjun, et al. Geological characteristics and metallogenic age of Borly porphyry Cu deposits in Balkhash metallogenic belt, Kazakhstan [J]. Journal of Geomechanics, 2010, 16 (4): 340~348 (in Chinese with English abstract).
- [8] 李勇, 陈宣华, 屈文俊, 等. 巴尔喀什成矿带阿克沙套云英岩型钨钼矿床地质特征与铼—钨同位素测年分析 [J]. 地质力学学报, 2010, 16 (4): 349~358.  
LI Yong, CHEN Xuanhua, QU Wenjun, et al. Geological characteristics and Re-Os isotopic dating of Akshatau greisen-type

- W-Mo deposit in Balkhash metallogenic belt [J]. *Journal of Geomechanics*, 2010, 16 (4): 349 ~ 358 (in Chinese with English abstract).
- [9] Yakubchuk A. Architecture and mineral deposit settings of the Altaid orogenic collage: a revised model [J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2004, 23: 761 ~ 779.
- [10] Bespaev Kh A, Miroshnichenko L A. Atlas of Mineral Deposit Models [M]. Almaty, Kazakhstan: K. I. Satpaev Institute of Geological Sciences, 2004, 1 ~ 141.
- [11] Abdulin A A, Bespaev H A, Daukeev C Zh, Miroshnichenko L A, Votsalevskiy E S. Copper deposits of Kazakhstan, reference book [M]. Almaty, Kazakhstan: Ministry of Ecology and Natural Resources of the Republic of Kazakhstan, 1998, 1 ~ 136.
- [12] 刘春涌. 哈萨克斯坦阿克斗卡特大型斑岩铜矿床 [J]. *中亚信息*, 2005, (6): 28 ~ 30.  
LIU Chunyong. Aktogai super-large porphyry copper deposit in Kazakhstan [J]. *Central Asian Information*, 2005, (6): 28 ~ 30 (in Chinese).
- [13] Zvezdov V S, Migachev I F, Girfanov M M. Porphyry copper deposits of the CIS and the models of their formation [J]. *Ore Geology Reviews*, 1993, 7: 511 ~ 549.
- [14] Seltmann R, Porter T M. The porphyry Cu-Au/Mo deposits of Central Eurasia: 1. Tectonic, geologic and metallogenic setting and significant deposits. In: Porter T M. Ed. *Super Porphyry Copper and Gold Deposits: A Global Perspective* [M], v2. Porter GeoConsultancy Pty Ltd. Publishing, Adelaide, 2005, 467 ~ 512.
- [15] 李光明, 秦克章, 李金祥. 哈萨克斯坦环巴尔喀什斑岩铜矿地质与成矿背景研究 [J]. *岩石学报*, 2008, 24 (12): 2679 ~ 2700.  
LI Guangming, QIN Kezhang, LI Jinxiang. Geological features and tectonic setting of porphyry copper deposits rounding the Balkhash region, Central Kazakhstan, Central Asia [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2008, 24 (12): 2679 ~ 2700 (in Chinese with English abstract).
- [16] Sergiiko Yu A, Volkhina T M, Kydyrbekov L U, Yunusov B I. Medno-porfirovie mestorozhdenia Aktogaikogo raiona (Porphyry copper deposits of Aktogai district) [J]. *Razvedka i Okhrana Nedr*, 1984, 11: 10 ~ 15 (in Russian).
- [17] Singer D A, Berger V I, Menzie W D, Berger B R. Porphyry copper deposit density [J]. *Economic Geology*, 2005, 100: 491 ~ 514.
- [18] Syromyatnikova N G, Kolesnikov V V, Ilyin V A, Bekmagambetov D B, Kovalskiy V S, Ostapova N V, Lupareva N P, Filimonova L E, Plotnikova V P. Isotope dating of copper-porphyry mineralisation and ore-controlling intrusions of the Aktogay ore field (northeast Balkhash area). Isotope dating of endogenic ore formations. Conference abstract volume, Kiev, 1990, 76 ~ 79 (in Russian).
- [19] Heinhorst J, Lehmann B, Ermolov P, Serykh V, Zhurutin S. Paleozoic crustal growth and metallogeny of Central Asia: evidence from magmatic-hydrothermal ore systems of Central Kazakhstan [J]. *Tectonophysics*, 2000, 328: 69 ~ 87.
- [20] Ermolov P V. Crust-derived crystalline inclusions in granitoid systems of Kazakhstan as a source of petrological information. In: Shatov V, Seltmann R, Kremenetsky A, Lehmann B, Popov V, Ermolov P. Eds. *Granite-related Ore Deposits of Central Kazakhstan and Adjacent Areas* [M]. Glagol Publ. House, St Petersburg, 1996, 301 ~ 314.
- [21] Krivtsov A I. Geologicheskie Osnovy Prognozirovaniya i Poiskov Medno-porfirovih Mestorozhdenii [M]. (Geological Fundamentals of Forecasting and Exploration of Porphyry Copper Deposits.) Moscow, Nedra, 1983, 1 ~ 255 (in Russian).

## GEOLOGICAL CHARACTERISTICS AND METALLOGENIC MODEL OF SUPER-LARGE PORPHYRY COPPER DEPOSIT IN AKTOGAI ORE FIELD , KAZAKHSTAN

CHEN Xuanhua<sup>1</sup> , YANG Nong<sup>1</sup> , CHEN Zhengle<sup>1</sup> , HAN Shuqin<sup>1</sup> ,  
WANG Zhihong<sup>1</sup> , SHI Wei<sup>1</sup> , YE Baoying<sup>2</sup>

(1. *Institute of Geomechanics , Chinese Academy of Geological Sciences , Beijing 100081 , China ;*

2. *China University of Geosciences , Beijing 100083 , China*)

**Abstract:** The Aktogai ore field consists of a group of porphyry Cu-Mo-Au deposits , such as Aktogai , Aidarly , and Kyzylkia deposits , in the Balkhash Metallogenic Belt of the Central Asian Metallogenic Domain. They are formed in the Balkhash volcanic arc of the north-central margin of Kazakhstan Orocline due to the large left-lateral strike-slip movement of the Ural-Tianshan Fault System and lateral crust-growth in the Late Paleozoic. Among them , the Aktogai deposit is a super-large porphyry Cu-Mo-Au deposit. All of them are porphyry deposits with typical zoning of wallrock alterations and mineral assemblages. The metallogenesis is mainly related to the silicification of the early-stage alkaline alteration and the redeposition in the acid alteration stage. The occurrence of ore-bodies is controlled by the E-W , ENE , and WNW trending faults. The SHRIMP zircon dating of granodiorite has given the Aktogai deposit a metallogenic age of  $327.5 \pm 1.9$  Ma in the late period of the Early Carboniferous. The deposit model of the porphy deposits in the Aktogai ore field is concluded as “granodiorite” type in the hypabyssal porphyry copper system.

**Key words:** Aktogai; porphyry copper deposit; geological characteristics; metallogenic model; developing future