

新疆阿依托汉铜矿地质特征及找矿方向

陈孝聪, 万生楠, 李文杰, 杨志鹏, 杨秉飞

(中国冶金地质总局新疆地质勘查院, 乌鲁木齐 830063)

摘要: 阿依托汉矿区位于阿尔泰山南缘的阿舍勒 Cu-Au-Pb-Zn 矿带, 共发现 5 条铜矿体, 铜矿体主要赋存于下-中泥盆统阿舍勒组第一岩性段的大理岩和变质凝灰岩中, 少量产于石英斑岩脉中; 与成矿有关的中泥盆世英云闪长岩和晚期岩脉提供了成矿热源并形成与矿化相关的矽卡岩化、硅化、绢云母化、绿帘石化等围岩蚀变; 玛尔卡库里大断裂的次级断裂(F_5 韧性断裂)控制了铜矿体的储矿空间; 成矿主要经过了早-中泥盆世(火山-沉积作用)、中泥盆世(岩浆侵入作用)和中-晚泥盆世(铜矿的主矿化阶段)多个阶段, 是多种地质因素的耦合导致最终成矿。矿床体现了“层控-岩控-构控-时控”四位一体控矿的特点, 不宜用单一的成矿模型予以描述定位, 矿床类型属于热液交代-充填型铜矿床。文章在总结找矿标志的基础上, 对下一步的找矿方向进行了探讨。

关键词: 阿依托汉铜矿; 矿床地质特征; 热液交代型-充填型矿床; 找矿方向; 新疆

中图分类号: P613; P618.41 **文献标识码:** A

0 引言

新疆哈巴河县阿依托汉铜矿区位于阿尔泰山南缘西段, 属于南阿尔泰山铜-铅-锌-铁-金-稀有-铀-白云母-宝石成矿带中的阿舍勒铜-金-多金属矿带^[1], 是新疆铜、金矿产的重要成矿带之一, 前人已在该区开展了大量研究工作^[2-9]。均受玛尔卡库里大断裂和哈巴河复式岩体的控制, 但矿床成矿特征具有独自的特点。中国冶金地质总局新疆地质勘查院 2004—2014 年在阿依托汉地区开展了系统地质找矿工作^{①②}。本文是在矿区地质勘查工作基础上, 对阿依托汉铜矿的地质特征进行阐述, 并指出进一步找矿的方向, 以期今后的铜矿找矿工作提供借鉴。

1 成矿地质背景

阿依托汉铜矿区位于西伯利亚板块南缘阿尔泰陆缘活动带的卡尔巴-哈巴河晚古生代弧前拉张火

山盆地^[10]。

(1) 区域地层。区域主要出露新生界和上古生界, 由上而下分别为第四系、古近系上新统独山子组、下石炭统红山嘴组、中泥盆统齐也组、下-中泥盆统阿勒泰镇组、下-中泥盆统阿舍勒组、下-中泥盆统托克萨雷组(图 1)。以玛尔卡库里大断裂为界, 断裂的北东侧出露下-中泥盆统阿舍勒组, 断裂的南西侧主要分布下-中泥盆统托克萨雷组。阿舍勒组是区域金、铜、锌矿化的主要赋矿层位, 为海相火山岩-火山碎屑岩-陆源碎屑岩夹碳酸盐岩建造, 总厚度 > 4 960 m; 地层有灰岩透镜体含有丰富的珊瑚化石。与托克萨雷组及红山嘴组呈断裂接触, 未见与阿勒泰镇组直接接触, 本组地层岩相复杂多变, 而且遭受断裂的强烈切割, 难以准确恢复原始的地层层序和火山活动旋回, 按岩性组合特征大体分为 4 个岩性段。综合阿舍勒组火山岩的年龄数据, 大致可分为 2 个时段区间: 第一个年龄区间介于 405~408 Ma 之间^[11-12], 相当于早泥盆世; 第二个年龄区间介于 372~388 Ma 之间^[13-14], 相当于中泥盆世; 结合区域花岗岩的地质及年代学研究成果, 将阿舍勒组的时代划定为早-中泥盆世。根据区域地层对比和同期

收稿日期: 2016-11-21; 责任编辑: 余和勇

作者简介: 陈孝聪(1975—), 男, 工程师, 从事矿产地质勘查与评价工作。通信地址: 新疆乌鲁木齐市南湖南路 66 号水清木华 A0 座, 中国冶金地质总局新疆地质勘查院; 邮政编码: 830063; E-mail: chxc118@sina.com

火山岩的研究^[15],本区的阿舍勒组与冲乎尔地区的阿勒泰镇组下亚组、多拉纳萨依一带的托克萨雷组灰岩段为同时异地的沉积建造,反映了不同构造单元中的沉积环境、沉积特点和沉积方式等的差异。

(2)区域岩浆岩。岩浆活动强烈,主要发生于华力西期,区域岩浆岩分为深成侵入岩、浅成-超浅成侵入岩和火山岩等不同类型,这些岩浆岩沿区域构造线呈NW向展布,在区域玛尔卡库里剪切带的北东侧出露有哈巴河复式岩基,面积超过400 km²,岩石类型包括英云闪长岩(斜长花岗岩)、碱长花岗岩、二长花岗岩、石英闪长岩、辉绿岩、辉长闪长岩和辉长岩等;岩体与泥盆系呈侵入接触或断裂接触关系,岩体中各岩性之间多呈脉动侵入接触或侵入接触关系;部分花岗岩遭受构造变形,形成片麻状构造和条带状构造。在复式花岗岩体边部及附近的地层中还

发育浅成-超浅成小岩体或岩脉;同构造期发育有阿舍勒阶段的火山熔岩和火山碎屑岩的喷发活动,形成基性、中性和酸性火山-火山碎屑岩系的堆积。据近年来对哈巴河花岗岩体的年代学研究,岩石中的锆石 U-Pb 年龄值介于 372.3~406.3 Ma 范围内^[16-19],而相关次火山岩锆石的 U-Pb 年龄值为 377.9~379.4 Ma^[14],结合花岗岩与地层的接触关系,认为哈巴河复式花岗岩是在中-晚泥盆世岩浆活动中形成的,在较短的时限范围内形成了深成-浅成-超浅成复式岩体,各类岩石均受断裂控制,部分岩石产生构造变形,显示出同构造花岗岩的特点。

(3)区域构造。位于阿舍勒岛弧构造带内,该构造带是在中泥盆世阿舍勒火山弧的基础上发育演化而成。带内构造作用强烈,主要的断裂有玛尔卡库里大断裂、阿希勒断裂带和别斯萨拉大断裂等。其中,玛尔卡库里大断裂的规模巨大,为区域性深大断裂,断裂总长超过1000 km,其主体部分位于哈萨克斯坦境内,断裂的东段延入我国境内,长度近100 km,为阿舍勒岛弧构造带和多拉纳萨依弧沟构造带的分界断裂,断裂两侧有宽数百至上千米的挤压破碎带或糜棱岩化带,在区域范围内,深大断裂呈反“S”形延展,断裂活动具有多期性和复杂性的特点:早期断裂活动以NW向韧性剪切变形为特征,片理、劈理和糜棱岩化现象较为发育,晚期出现近EW向及NW向等多组压扭性、张扭性的次级断裂,以脆性破碎为主;断裂带及其附近的热液蚀变发育,岩石硅化、黄铁矿化、绿泥石化、绢云母化较为普遍,对阿舍勒-托库孜巴依一带的铁、铜、铅锌和金的成矿具有明显的控制作用,阿依托汉铜矿区亦产于玛尔卡库里大断裂带北东侧的影响范围内,受次级韧性脆性断裂的控制。玛尔卡库里大断裂经历了多次活动,始于早古生代,直到石炭纪仍有活动,泥盆纪是其主要的活动阶段,推测与西伯利亚板块的复杂运动有关,断裂切截破坏了泥盆纪的火山-沉积岩系,并使地层岩石遭受到程度不同的变质变形,同时还使侵位不久的哈巴河花岗岩基的部分岩石发生变形。

(4)区域变质。区域变质作用较为普遍,中泥盆统岩石普遍遭受区域性浅变质作用。表现为:①岩石中片状、千枚状构造较为发育;②岩石重结晶,重结晶颗粒较小,粒径0.04~0.5 mm;泥质岩多重结晶为细小的鳞片状绿泥石、长英质和少量碳质,灰岩大部分重结晶成为大理岩和结晶灰岩。

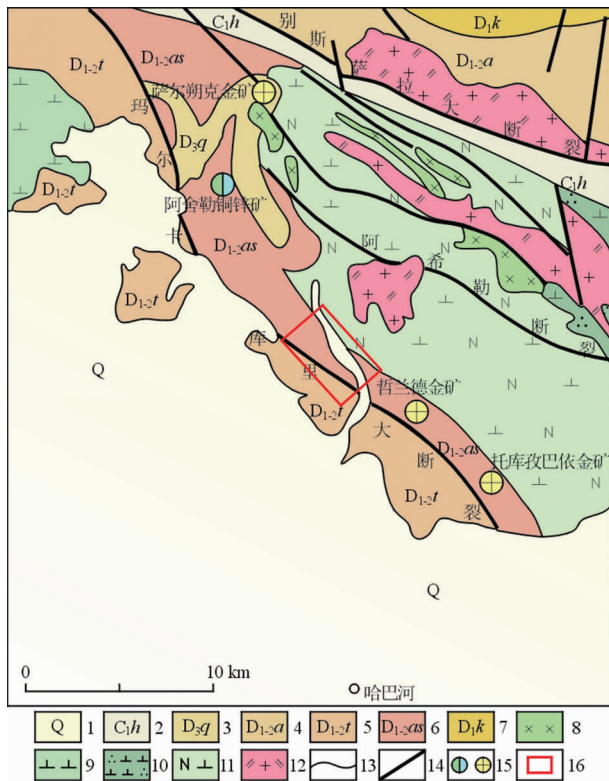


图1 阿依托汉铜矿区地质图

Fig. 1 Regional geological map of Aiyituo Han copper deposit

1. 第四系; 2. 下石炭统红山嘴组; 3. 上泥盆统齐也组;
4. 下-中泥盆统阿勒泰镇组; 5. 下-中泥盆统托克萨雷组;
6. 下-中泥盆统阿舍勒组; 7. 下泥盆统康布铁堡组;
8. 辉长岩; 9. 石英闪长岩; 10. 闪长岩;
11. 英云闪长岩; 12. 二长花岗岩; 13. 地质界线;
14. 断裂; 15. 铜锌矿床/金矿床; 16. 工作区

2 矿区地质特征

2.1 地层

矿区出露地层较为简单,除在沟谷见少量第四系外,主要出露下-中泥盆统阿舍勒组和托克萨雷组,二者以玛尔卡库里深大断裂为界,分布在断裂的两侧,二者均呈断层接触关系,地层的上下关系尚未见到。

(1)下-中泥盆统阿舍勒组($D_{1-2}as$)。为一套滨海-浅海相火山岩-火山碎屑岩-火山碎屑沉积岩夹碳酸盐岩建造,自下而上可分为4个岩性段。①第一岩性段:以沉凝灰岩、凝灰质砂岩、钙质泥质粉砂岩、英安质凝灰岩、角砾凝灰岩为主,夹不纯灰岩薄层、礁灰岩透镜体和少量中-中酸性熔岩,礁灰岩含丰富的珊瑚化石,在阿依托汉-哲兰德一带,火山碎屑物质较少;②第二岩性段:主体为火山熔岩和火山碎屑岩,夹部分碎屑岩,夹层中含放射虫化石和中泥盆世珊瑚化石,火山岩成分以英安质、石英角斑质为主,另有少量安山质或玄武质,火山岩类型以熔岩为主,另有角砾熔岩、火山角砾岩、集块岩、凝灰岩等,阿舍勒铜锌(多金属)矿床赋存于该岩性段中;③第三岩性段:底部为凝灰质砂砾岩;下部为安山-玄武质火山碎屑岩;中部为相变剧烈的中基性火山熔岩及火山碎屑岩;上部为英安质火山碎屑岩;④第四岩性段:为火山碎屑岩、火山碎屑-沉积岩,层理及沉积韵律明显,上部夹灰岩和砂砾岩透镜体。

矿区内仅见到阿舍勒组第一岩性段的部分层位:上部为变质砂岩、变质粉砂岩;下部为变质晶屑凝灰岩、变质砂岩和大理岩,其中变质砂岩与大理岩常呈互层产出。第一岩性段为阿依托汉铜矿区的赋矿层位。在矿区的北东部,阿舍勒组地层与哈巴河英云闪长岩呈侵入接触关系。

(2)下-中泥盆统托克萨雷组($D_{1-2}t$)。在矿区西南部有小范围出露,为陆源碎屑岩夹硅质岩-碳酸盐岩建造。上部以变长石石英杂砂岩为主,夹薄层状灰岩透镜体,含生物碎屑;下部为变长石石英杂砂岩、变质粉砂岩夹变砂砾岩、砾岩及少量泥质硅质板岩。岩石普遍具片理化和糜棱岩化等韧性变形和绢云母化蚀变,与阿舍勒组为断层接触关系。

2.2 岩浆岩

矿区岩浆岩为哈巴河复式花岗岩体的西部边缘,岩性以英云闪长岩为主,岩体呈NW向延长,局部地段可见英云闪长岩侵入于中泥盆统阿舍勒组

中。岩石呈灰-灰白色,中粒、中粗粒半自形粒状结构,局部有似斑状结构,块状构造、斑杂状构造;主要矿物(体积分数)为斜长石(60%~65%)、石英(25%~30%)、黑云母(8%~12%)和钾长石(<5%),副矿物有磁铁矿、钛铁矿、磷灰石、榍石、锆石、黄铁矿和白钨矿等。岩石压碎现象多见,裂隙发育,在裂隙中可见绢云母化、钠长石化、绿泥石化、绿帘石化、高岭土化等热液蚀变。据研究^[19],英云闪长岩的岩石化学成分显示高硅、低钾、过铝质的特征,轻稀土元素和Tu、U、Pb、Zr、Hf等微量元素显著富集,Nb、Ta、Sr、P、Ti等元素亏损,并且Eu出现强烈的负异常,表明英云闪长岩为陆壳岩石部分熔融的产物。

矿区中各类脉岩发育,岩石类型有辉绿岩、闪长岩、花岗细晶岩脉、英安斑岩脉、石英斑岩脉、石英脉,岩脉产状:走向多与构造线方向一致(300°~350°),倾向以SW为主,亦有少数脉岩倾向NE(如东南矿段),倾角较陡(70°~85°);脉岩长度80~700 m,宽10~60 m。

2.3 构造

矿区处于玛尔卡库里深大断裂和哈巴河复式岩体之间,受深大断裂和花岗岩上隆的共同影响,矿区内的中泥盆统被切割成条块状,主要为单斜;地层走向NW,大部分地段倾向SW,但哈巴河以东地段的地层倾向NE,倾角较陡(77°~84°)。

矿区内的主要构造形式为断裂,均可归属于区域玛尔卡库里断裂系统,断裂的展布方向多为NW向,亦有少量NE向断裂的产出。NW向断裂主要7条断裂,编号为 F_1-F_7 ,形成时间较早,是区内重要的控矿断裂,断裂走向290°~335°,倾向SW或NE,陡倾(倾角65°~85°),该组断裂控制着各种脉岩及铜矿(化)体的展布;另在英云闪长岩中产有一条NE向断裂,走向40°,断裂性质不清(表1,图2)。 F_5 断裂位于矿区中部,贯穿整个阿依托汉铜矿区,以挤压破碎及强片理化为特征,在破碎强烈处出现断层泥。岩石发生硅化、绿泥石化,局部绿帘石化等蚀变,并具褐铁矿化、孔雀石化、蓝铜矿化,矿区的铜矿(化)体产于该组断裂两侧,受其次级构造控制。因此, F_5 断裂是区内的控矿断裂。

2.4 围岩蚀变

围岩蚀变主要表现为接触交代阶段的矽卡岩化和热液阶段的围岩蚀变。

(1)接触交代阶段的矽卡岩化。主要发生在英云闪长岩外接触带的阿舍勒组碳酸盐岩中,分为透辉石透闪石矽卡岩、透闪石绿帘石矽卡岩、透闪石阳起石矽卡岩等。

表 1 新疆阿尔托汉铜矿区断裂地质特征

Table 1 Characteristics of faults in Ayituohan copper deposit

编号	规模/m		断裂产状/(°)	断裂特征
	长度	宽度		
F ₆	1500	1~5	20~70/75~90	产于托克萨雷组二段中,左行走滑逆断层,片理化和挤压强烈,糜棱岩和破碎岩石发育
F ₇	900	1~3	33~40/65~79	上盘为托克萨雷组三段,下盘为托克萨雷组二段;断层中岩石破碎,有糜棱岩,两侧有透镜状石英脉
F ₁	3780	0.1~1	40~45/79~83	逆断层,断层下盘为托克萨雷组三段,上盘为阿舍勒组一段;断层附近的变石英砂岩具较强的糜棱岩化,并有褐铁矿化和少量含孔雀石的石英脉转石
F ₂	1530	0.1~0.5	210~215/80~86	产于阿舍勒组一段中;韧性走滑断层,附近变霏细岩具较强褐铁矿化,局部见含孔雀石石英脉转石
F ₃	1800	0.1~0.3	210~234/82~86	产于阿舍勒组一段中;岩石挤压破碎,具糜棱岩化,地表呈凹地形
F ₄	980	0.1~0.5	230~246/79~85	产于阿舍勒组一段中;断裂性质不清
F ₅	3600	0.5~1	240~250/82~86	产于阿舍勒组一段中;岩石强片理化和挤压破碎,具绿帘石化、硅化及绿泥石化蚀变,并有孔雀石化、蓝铜矿化,褐铁矿化,为主要控矿断裂
F ₈	900		走向 40	产于英云闪长岩中,断裂性质不清

注:断裂规模的数据系指矿区范围内。

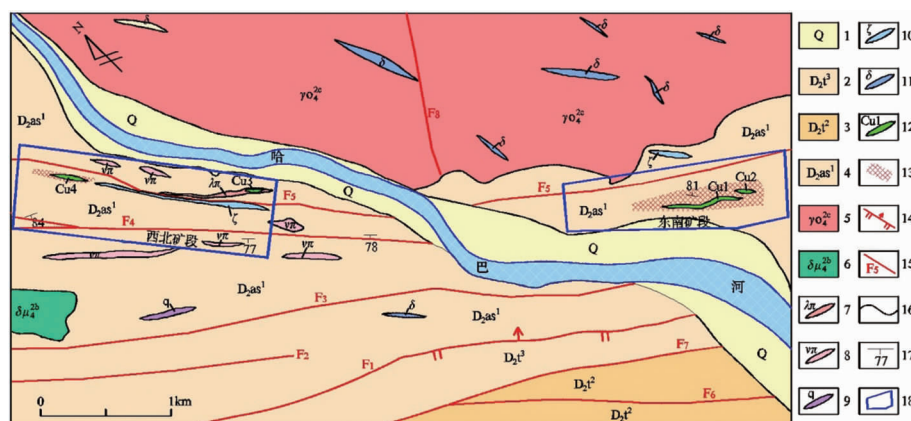


图 2 阿依托汉铜矿区地质图及找矿靶区

Fig. 2 Geological map of Ayituohan Mining area with prospecting targets

1. 第四系; 2. 下-中泥盆统托克萨雷组第三段; 3. 下-中泥盆统托克萨雷组第二段;
4. 下-中泥盆统阿舍勒组第一段; 5. 中泥盆统英云闪长岩; 6. 闪长玢岩;
7. 石英斑岩脉; 8. 变霏细岩脉; 9. 石英脉; 10. 英安岩脉; 11. 闪长岩脉;
12. 铜矿体及编号; 13. 砂卡岩化; 14. 断裂及产状;
15. 性质不明断裂; 16. 地质界线; 17. 地层产状; 18. 找矿靶区

(2)热液阶段的围岩蚀变。发生于砂卡岩化岩石中,也产于变凝灰岩、石英斑岩中;蚀变类型有硅化、绢云母化、绿帘石化、绿泥石化、碳酸盐化等。

产于碳酸盐岩中的铜矿化多与透辉石透闪石砂卡岩化、硅化、绿帘石化及碳酸盐化有关;产于凝灰岩和石英斑岩中的铜矿化多与硅化、绢云母化、绿泥石化有关。铜矿化多呈稠密浸染状、细脉状、细脉浸染状产出。

3 矿体地质特征

阿依托汉铜矿区内地表铜矿化普遍,地表经常可见孔雀石化、褐铁矿化现象。通过矿区大比例尺地质填图和工程揭露,共圈定出 5 条铜矿化体。这些铜矿化体主要产于哈巴河英云闪长岩与阿舍勒组第一岩性段接触带的外带,分布在 F₅ 断裂的两侧,地表的铜矿化均产于阿舍勒组岩石中,矿区铜矿化体集中在 2 个地段产出,特将其分为东南矿段和西北矿段。

3.1 东南矿段

东南矿段位于哈巴河东岸, F₅ 断裂的上盘(南西侧)该地段地层倾向为 NE 向陡倾,明显区别于矿

区其他地段。在东南矿段地表共圈出2条铜矿体,编号分别为1号矿体和2号矿体(见图2)。

(1)1号铜矿体。位于矿区东南矿段的中部,铜矿化产于蚀变的晶屑凝灰岩中,沿走向矿体呈舒缓波状产出。矿化体断续出露长约700 m,地表有效控制长度为320 m,真厚度为1.08~3.50 m,平均厚度1.56 m;矿体走向NW,倾向NE,倾角 $70^{\circ}\sim 85^{\circ}$,为陡倾斜矿体。铜矿体品位 $w(\text{Cu})=0.28\%\sim 0.60\%$,平均0.47%;深部1号铜矿体发生分支-复合,共有7个钻孔控制矿体,铜矿体真厚度1.11~5.65 m,平均2.53 m,品位 $w(\text{Cu})=0.27\%\sim 0.60\%$,平均0.46%。

(2)2号铜矿体。位于东南矿段1号矿体南东约60 m处,地表出露于76线—84线间,与1号矿体东南段大致平行展布,铜矿化赋存在蚀变的晶屑凝灰岩中,地表出露长度约72 m,宽1.0~2.35 m,矿体产状 $31^{\circ}\angle 75^{\circ}\sim 83^{\circ}$,为陡倾斜矿体。铜矿品位 $w(\text{Cu})=0.47\%$ 。深部由2个钻孔控制,矿体真厚度1.06~4.49 m,铜品位 $w(\text{Cu})=0.43\%\sim 0.87\%$ 。

3.2 西北矿段

西北矿段位于哈巴河的西北侧,铜矿体均产于 F_5 断裂的两侧,3号矿体赋存在 F_5 断裂的下盘,4

号和5号矿体均位于铜矿赋存于 F_5 断裂的上盘(图3)。地表共圈出2条(即3号和4号)铜矿体,在深部4号矿体的上盘圈定出1条隐伏铜矿化体(即5号矿体);铜矿体均为NW走向,与 F_5 断裂大致平行,倾向SW,倾角很陡($75^{\circ}\sim 82^{\circ}$)。铜矿体附近有不同岩性的脉岩产出,如英安斑岩、石英闪长岩、辉绿岩等;4号矿体附近有较强烈的矽卡岩化。

(1)3号铜矿体。位于西北矿段的东南部16线—20线之间,地表铜矿体呈透镜状,赋存于硅化、弱绿帘石化、孔雀石化的石英斑岩脉中,矿体长约100 m,厚1.30 m,产状 $215^{\circ}\angle 78^{\circ}\sim 82^{\circ}$,铜品位 $w(\text{Cu})=0.51\%$,铜品位与孔雀石化(黄铜矿化)的强度关系密切;深部仅有一个钻孔中见到铜矿化体,厚度为1.85 m,铜品位 $w(\text{Cu})=0.25\%$ 。3号矿体矿体偏小,为陡倾斜矿体。

(2)4号铜矿体。位于西北矿段的西北部5线—11线之间。矿体产于黄铁矿化黄铜矿化透辉石透闪石矽卡岩中;地表矿体呈脉状,沿走向呈舒缓波状,出露长约200 m,厚1.30~7.84 m,矿体产状 $233^{\circ}\sim 253^{\circ}\angle 75^{\circ}\sim 81^{\circ}$,铜品位 $w(\text{Cu})=0.26\%\sim 0.80\%$;向深部矿体有厚度增大、品位变富的趋势,矿体厚度0.80~14.00 m,铜品位 $w(\text{Cu})=0.20\%\sim 2.35\%$,平均0.60%。为陡倾斜矿体,矿化岩石

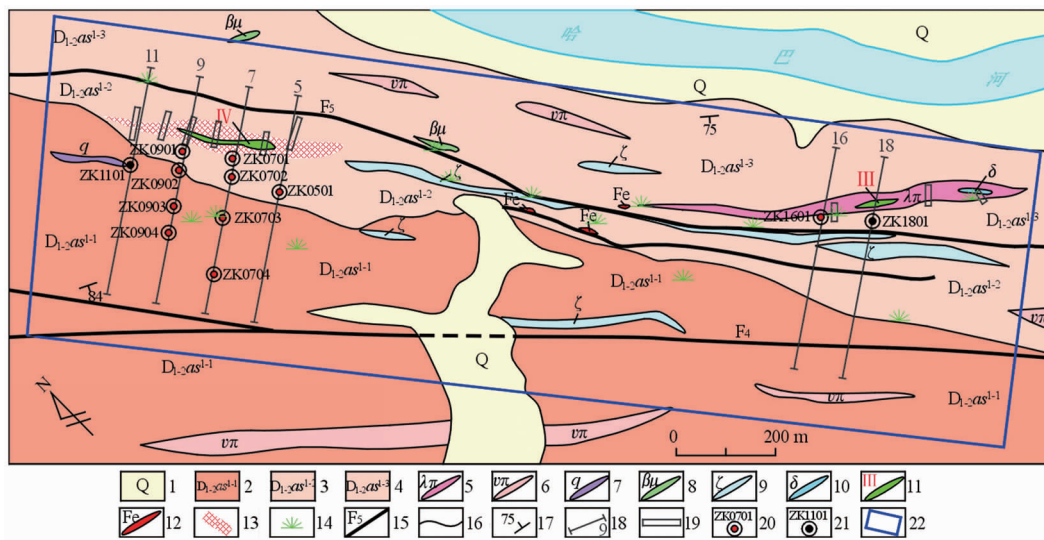


图3 阿依托汉铜矿西北矿段地质简图

Fig. 3 Geological sketch the northwest ore block of Ayituo Han copper deposit

- 第四系;2. 中泥盆统阿舍勒组第一段第一层;3. 中泥盆统阿舍勒组第一段第二层;
- 中泥盆统阿舍勒组第一段第三层;5. 石英斑岩脉;6. 变霏细岩脉;7. 石英脉;
- 辉绿岩脉;9. 英安岩脉;10. 闪长岩脉;11. 铜矿体及编号;12. 铁矿体;
- 矽卡岩化;14. 孔雀石化;15. 断裂及编号;16. 地质界线;17. 地层产状;18. 勘探线及编号;
- 探槽;20. 见矿钻孔及编号;21. 未见矿钻孔及编号;22. 矿段范围

具有碎裂特征。

(3)5号铜矿体:为隐伏矿体,分布于5线—11线之间,4号铜矿体的上盘约120 m处,与4号铜矿体大致平行分布。矿体厚0.55~4.16 m, $w(\text{Cu})=0.10\% \sim 1.09\%$, 平均0.36%。矿体产状 $242^\circ \angle 76^\circ$, 属陡倾斜矿体。赋矿岩性为黄铁矿化黄铜矿化变质晶屑凝灰岩。

4 矿石特征

(1)矿石自然类型主要为硫化矿石,有极少量的混合矿石和氧化矿石;矿石工业类型为含黄铜黄铁矿矿石。

(2)矿石矿物成分。金属矿物有黄铜矿、黄铁矿(褐铁矿)、孔雀石、蓝铜矿;非金属矿物为透辉石、透闪石、阳起石、绿帘石、方解石、石英和长石等。矿石中的含铜硫化物是铜元素的主要载体矿物,氧化矿物中也赋存了部分铜元素。

(3)矿石化学成分。根据矿石及围岩的微量元素分析结果(表1),矿石的伴生组分中,有益组分S、Ag和Mo的质量分数达到铜矿床伴生有益组分评价的要求;其平均品位为 $w(\text{Ag})=4.04 \times 10^{-6}$, $w(\text{Mo})=0.012\%$, 可以综合回收利用。矿石中W、Bi和Au元素具有一定程度富集,但未达到综合利用的指标。有害元素As的质量分数则较低,有利于铜矿石的选冶利用。

(4)矿石结构构造。①氧化矿石的结构主要为他形-半自形粒状结构,矿石构造可分为细脉浸染状构造、皮壳状构造等;②原生硫化矿石的结构主要有自形-半自形结构、半自形-他形结构等,矿石构造有片状构造、细脉-网脉状构造、稀疏浸染状构造、细脉

浸染状构造和团块状构造等。

(5)矿化阶段。矿区铜矿体的形成可分为2个阶段:①早期阶段:黄铜矿交代透辉石透闪石矽卡岩,形成稠密浸染状或条带状黄铜矿化;②晚期阶段:在温度较低条件下,黄铜矿沿透辉石透闪石矽卡岩破碎的缝隙充填交代,形成细脉状、细网状黄铜矿化。

5 控矿因素

5.1 断裂构造的控矿作用

断裂构造不仅对阿舍勒泥盆纪火山沉积盆地和哈巴河岩浆杂岩体的空间定位具有明显的控矿作用,同时还严格控制着铜金多金属矿带、矿床及矿体的产出。

(1)玛尔卡库里大断裂控制了阿舍勒—托库孜巴依一带铜、锌、金矿床(点)的空间分布。阿舍勒大型铜锌矿床、阿依托汉铜矿、哲兰德—托库孜巴依金矿等矿床(点)呈NW向带状分布在玛尔卡库里大断裂(F_1)与哈巴河复式岩体之间的中泥盆世火山沉积盆地中。

(2)玛尔卡库里大断裂(F_1)的次级断裂(F_5 断裂)控制着阿依托汉铜矿床的分布。NW向的 F_5 断裂切割阿舍勒组一段岩石,断裂中具有较强的片理化和挤压破碎,并有多阶段(次)活动的特点,经历了韧性剪切变形、压扭及张(扭)性破裂等活动,矿区中的铜矿化均产于 F_5 断裂的附近,并与之平行展布,断裂中具绿帘石化、硅化、绿泥石化等蚀变,地表具有孔雀石化、蓝铜矿化、褐铁矿化等矿化现象,因此认为 F_5 断裂是矿区重要的控矿断裂。

表2 阿依托汉铜矿区矿石及围岩微量元素分析结果

Table 2 Trace elements analysis of ore and wall rock in the Ayituoohan copper deposit

序号	样号	岩性	$w_B/10^{-9}$		Hg	As	Sb	Bi	Cr	$w_B/10^{-6}$						$w_B/\%$		备注
			Au	Ag						Co	Ni	Zn	Mo	W	Pb	FeO	S	
1	GP1	铜矿石	23.6	>5000	20	21.8	1.10	16.0	7.0	12.4	14.2	367	>50	8.9	15.0	5.99	0.97	铜矿体
2	GP2	铜矿石	25.0	>5000	9	6.4	0.48	45.0	6.2	18.0	20.4	170	>50	5.4	10.3	7.12	1.23	铜矿体
3	GP3	铜矿石	19.6	652	12	30.8	0.23	2.3	6.1	17.7	10.3	153	>50	18.7	4.6	11.03	0.545	铜矿体
4	GP4	铜矿石	27.5	1485	10	28.9	0.48	22.5	6.0	15.0	5.2	78.4	35.2	17.6	21.9	3.88	3.12	铜矿体
5	GP5	铜矿化	17.5	542	9	25.8	0.37	7.0	6.2	21.6	6.3	146	>50	8.3	17.7	8.30	2.015	铜矿体
6	GP6	砂卡岩	7.1	172	8	2.1	0.46	>50	6.0	9.4	23.4	18.7	3.1	>50	4.5	6.16	0.012	近矿围岩
7	GP7	砂卡岩	1.8	75	8	10.0	0.49	1.6	69.0	23.5	37.3	126	1.4	5.2	24.6	5.99	0.46	远矿围岩
8	GP8	砂卡岩	0.61	192	17	29.6	1.10	0.16	22.3	5.6	19.4	704	2.5	0.97	49.2	0.77	0.010	近矿围岩
9	GP9	砂卡岩	0.54	161	11	27.2	0.84	0.17	11.6	3.7	15.9	958	2.3	0.69	71.9	0.80	0.285	近矿围岩
10	GP10	英安岩	0.68	59	9	10.2	0.31	0.15	6.0	4.9	13.3	148	3.7	0.67	36.3	1.32	0.405	远矿围岩

注:测试单位:新疆有色地勘局测试中心。

(3)矿区内各铜矿体都位于 F_5 断裂两侧构造变形较强的部位,而且具有大致与 F_5 断裂平行产出的特点。蚀变矿化主要受发育于断裂两侧的密集片理化带的控制,与 F_5 断裂大致平行的构造裂隙为成矿提供了良好的储矿空间。岩脉的侵入界面、沉积岩石的层间错动面、岩石中裂隙发育的部位均可形成含矿热液的停积空间和矿质的沉淀场所,形成脉状、似层状或透镜状铜矿(化)体。

5.2 岩浆岩的控矿作用

阿依托汉矿区的铜矿体均产于哈巴河岩体英云闪长岩的接触外带100~500 m的范围内,表明侵入岩体为成矿提供了必要的热动力条件。矿区中各种脉岩(包括石英斑岩、变霏细岩、英安斑岩、辉绿岩及闪长岩等)作为侵入体外侧的岩枝或较晚阶段侵位的次火山岩非常发育,部分铜矿化直接产于石英斑岩脉中(如3号铜矿体);岩浆侵入时与围岩发生了强烈的水/岩交代作用,气成-高温热液阶段形成的透辉石透闪石矽卡岩和热液阶段的硅化、绢云母化、绿泥石化、碳酸盐化等围岩蚀变在矿区中均有发育,为热液阶段的铜矿化提供了丰富的热动力、成矿介质和部分成矿物质。

5.3 地层的控矿作用

阿依托汉矿区的铜矿体均赋存于下-中泥盆统阿舍勒组第一岩性段,位于哈巴河岩体和阿舍勒组岩石接触带的外带。矿区中主要的铜矿体赋存在大理岩(或结晶灰岩)或变晶屑凝灰岩中,并受岩浆侵入的影响发生强烈的水/岩交代作用,形成各类围岩蚀变和金属矿化,蚀变矿化均呈似层状、透镜状产出,与地层的“层”呈整合状态,显示出地层对铜矿的某种控制作用。前人研究表明,阿舍勒大型铜锌矿床的铜矿体均产于阿舍勒组第二岩性段火山碎屑岩中^[6-8],托库孜巴依一带的金矿化亦赋存在阿舍勒组岩石中;同时,中泥盆统阿舍勒组岩石中的Cu、Au、Ag、Pb、Zn元素均表现为高丰度特征,达到一定程度的富集^[20],尽管成矿带中各个矿床的赋矿层位不完全一致,但均产在阿舍勒组岩石中,这显示出阿舍勒组对铜金多金属矿化的层位控制性。

6 矿床成因

综上所述,阿依托汉铜矿床位于区域阿舍勒-托库孜巴依铜-金-多金属成矿带中,铜矿体主要赋存于下-中泥盆统阿舍勒组第一岩性段中,少量产于

石英斑岩脉中;与成矿有关的中泥盆世英云闪长岩和晚期岩脉提供了成矿热源、成矿介质和部分成矿物质;玛尔卡库里大断裂及其次级断裂控制了铜矿的储矿空间,韧脆性阶段和脆性阶段的变形作用与成矿具有直接联系;从时间这个维度上看,先后经过了早-中泥盆世(火山-沉积作用)、中泥盆世(岩浆侵入作用)、中-晚泥盆世(铜矿的主矿化阶段),多因素耦合最终成矿,体现了“层控-岩控-构控-时控”四位一体耦合成矿的特点,不宜用单一的成矿模型予以描述定位,矿床类型属于多因复成中温热液交代-充填型铜矿床是恰当的。

7 找矿标志和找矿方向

7.1 找矿标志

(1)下-中泥盆统阿舍勒组是有利的找矿层位,其中的变晶屑凝灰岩和大理岩(结晶灰岩等)是有利的赋矿岩性,这是找矿的层位-岩性标志。

(2)哈巴河岩体英云闪长岩与阿舍勒组的外接触带中酸性脉岩发育的地段,是找矿的岩浆岩标志。

(3)玛尔卡库里大断裂带附近兼有韧性变形和脆性变形的断裂-裂隙带、岩石中具有糜棱岩化、片理化、碎裂化的部位,断裂的交汇、转折、分支复合等部位,是找矿的构造标志。

(4)上述各有利部位岩石中出现的围岩蚀变,如矽卡岩化、硅化、绢云母化、绿帘石化、绿泥石化等,是找矿的蚀变标志。

(5)地表氧化带中出现孔雀石化、褐铁矿化等和新鲜岩石中的黄铜矿化,是找矿的矿物标志。

(6)地球化学测量成果Cu元素高值异常、Cu-Ag-Au-Mo-Pb-Zn-W-Bi元素异常的组合,是找矿的地球化学标志。

(7)地球物理电法测量的极化率中-高值异常区和电阻率中-低值异常区,是找矿的地球物理标志。

7.2 找矿方向

通过对区域地质资料的整理分析和对阿依托汉铜矿勘查资料的总结,认为在阿依托汉铜矿本区及附近地段找矿是具有一定潜力的,应该在继续找铜矿的基础上综合找矿,对经常伴生产出的金、多金属矿应当注意收集矿化线索,努力开拓找矿领域。

(1)圈定东南矿段和西北矿段作为铜矿找矿的优选靶区。这2个靶区均位于哈巴河岩体接触外带的阿舍勒组第一岩性段中;区内断裂发育,断裂具有

韧脆性变形特点,岩石中片理发育并且破碎;常伴有褐铁矿化(黄铁矿化)、硅化、绢云母化、绿泥石化、绿帘石化等蚀变,局部可见孔雀石化、镜铁矿化、黄铜矿化等;地表已发现铜矿化 23 处,铁矿化 4 处,是重要的找矿线索,应进一步寻找热液型铜、铁多金属矿(化)体。

(2)通过 TEM 测量,在 2 个靶区中获得 17 处低阻异常体。其中,7 线和 5 线的 TEM 低阻体与铜铁矿体吻合一致^[21]。另外,13 线、3 线、8 线和 18 线的测量成果显示,深部还存在一系列呈 NE 倾向的低阻体,这些低阻体是金属矿化引起,还是其它地质体的干扰?需要进行综合研究加以判断,必要时应进行工程验证。

(3)铁、铜共生是许多岩浆热液型铁(铜)矿的成矿特征^[22],矿区内也多处见到磁铁矿小矿体,在 5 线的浅部已经揭露到了铁矿体,铁矿化与铜矿化的空间分布规律目前不很清楚,是否会出现“上铁下铜”赋存规律?需要进一步的综合研究。目前的勘查资料表明,4 号铜矿体的延长显著小于延深,并有向 SE 侧伏的趋势,推测深部会出现厚大的铜矿体,有中型铜矿床的资源远景。应开展矿区的综合研究工作,获得规律性认识,结合物探瞬变电磁(TEM)测量成果资料,利用钻探工程对矿体深部进行验证,查明深部找矿远景,为进一步勘查工作提供科学依据。

(4)在矿区外围已知矿体的延伸部位进行追索找矿,寻找断裂构造及旁侧的蚀变矿化地段;并注意寻找相关矿种(金、钼、铅锌)的找矿线索。

注释:

- ① 苏大勇. 新疆哈巴河县阿依托汉铜矿普查地质报告. 乌鲁木齐:中国冶金地质总局新疆地质勘查院,2004.
- ② 陈孝聪,李文杰. 新疆哈巴河县阿依托汉铜金矿详查 2014 年度工作总结. 乌鲁木齐:中国冶金地质总局新疆地质勘查院,2014.

参考文献:

- [1] 董连慧,冯京,刘德权,等. 新疆成矿单元划分方案研究[J]. 新疆地质,2010(1):1-15.
- [2] 陈毓川,叶庆同,冯京. 阿舍勒铜锌成矿带成矿条件与成矿预测[M]. 北京:地质出版社,1996:33-145.

- [3] 韩宝富,何国琦. 中国阿尔泰山南缘泥盆纪火山岩带的大地构造性质[J]. 新疆地质科学,1999(3):89-100.
- [4] 何国琦,刘德权,李茂松,等. 新疆主要造山带地壳发展的五阶段模式及成矿系列[J]. 新疆地质,1995(2):99-196.
- [5] 王京彬,李博泉,张积斌. 额尔齐斯聚矿带金铜成矿条件及找矿预测[M]. 北京:冶金工业出版社,1999:1-175.
- [6] 王登红. 新疆阿舍勒铜矿区火山岩与成矿[J]. 地质科学,1996,31(2):163-169.
- [7] 冯京,徐仕琪. 阿舍勒铜锌矿综合找矿预测模型[J]. 新疆地质,2012,30(4):418-424.
- [8] 杨富全,吴玉峰,杨俊杰,等. 新疆阿尔泰山阿舍勒矿集区铜多金属矿床模型[J]. 大地构造与成矿学,2016,40(4):701-715.
- [9] 田晓云,肖国莲. 新疆哈巴河县托库孜巴依金矿地质特征及成因浅析[J]. 新疆地质,2007,25(3):258-262.
- [10] 王广瑞. 中国新疆北部及邻区构造建造图说明书[M]. 武汉:中国地质大学出版社,1996:9-23.
- [11] 陈汉林,杨树锋,厉子龙,等. 阿尔泰晚古生代早期长英质火山岩的地球化学特征及构造背景[J]. 地质学报,2006,80(1):38-42.
- [12] 宋国学,秦克章,刘铁兵,等. 阿尔泰山南缘阿舍勒盆地泥盆纪火山岩中古老锆石的 U-Pb 年龄、Hf 同位素和稀土元素特征及其地质意义[J]. 岩石学报,2010,26(10):2946-2958.
- [13] 李华芹,谢才富,常海亮,等. 新疆北部有色金属矿床成矿作用年代学[M]. 北京:地质出版社,1998:36-40.
- [14] 杨富全,李凤鸣,秦纪华,等. 新疆阿舍勒铜锌矿区(潜)火山岩 LA-MC-ICP-MS U-Pb 锆石 U-Pb 年龄及其地质意义[J]. 矿床地质,2013,32,(5):869-883.
- [15] 牟传龙,朱晓镇,邢雪芬. 海相火山沉积盆地层序地层研究:以新疆阿舍勒、冲乎尔地区泥盆系地层为例[J]. 岩相古地理,1997,17(3):11-21.
- [16] 蔡克大. 阿尔泰造山带西段岩浆活动的时代、成因机制及其构造意义[D]. 北京:中国科学院研究生院,2007.
- [17] 李永,周刚,柴凤梅. 阿尔泰山南缘哈巴河岩体 LA-ICP-MS 锆石定年及地质意义[J]. 新疆地质,2012,30(2):146-151.
- [18] 王涛,童英,李舫,等. 阿尔泰造山带花岗岩时空演变、构造环境及地壳生长意义:以中国阿尔泰为例[J]. 岩石矿物学杂志,2010,29(6):595-618.
- [19] 柴凤梅,欧阳刘进,董连慧,等. 新疆阿舍勒铜锌矿区英云闪长岩年代学及地球化学[J]. 岩石矿物学杂志,2013,32(1):41-52.
- [20] 刘德权,唐延龄,周汝洪. 中国新疆矿床成矿系列[M]. 北京:地质出版社,1996:88-96.
- [21] 朱建德,张之武,陈孝聪,等. 新疆哈巴河县阿依托汉铜矿瞬变电磁深部探矿预测[J]. 地质与勘探,2015(4):670-676.
- [22] 姚凤良,孙丰月. 矿床学教程[M]. 北京:地质出版社,2007:87-88.

Geological characteristics and prospecting direction of Ayituohan copper deposit, Xinjiang

CHEN Xiaocong, WAN Shengnan, LI Wenjie, YANG Zhipeng, YANG Bingfei

(Xinjiang Geological Exploration institute of China Metallurgical Geology Bureau, Urumqi 830063, China)

Abstract: The Ayituohan copper deposit is located in the Ashele Cu-Au-Pb-Zn ore belt of the South Altai metallogenic belt at the south margin of the Altai mountains in Xinjiang. Five ore bodies discovered occur mainly in the marble and metamorphic tuff of the first lithologic member of Lower-Middle Devonian Ashele formation, a few in quartz porphyry dyke. The Middle Devonian tonalitic diorite is the heat source and lead to skarnization, silicification, sericitization epidotization etc. Spatially the ore body is controlled by the ductile-brittle sub-faults F_5 of Maerkakuli fault. Mineralization is the coupling of multi-geological factors and can be divided into stages of Early-Middle Devonian volcano-sedimentation, Middle Devonian magma intrusion, the main ore-forming stage of Middle Devonian Epoch. The deposit is characterized by combination of stratum-lithology-structure-time control and a single model is not proper to describe the location of the ore bodies. It is a thermal metasomatic-filling copper deposit. This paper summarizes the prospecting marks and makes discussion on the prospecting directions.

Key Words: The Ayituohan copper deposit; geological characteristics; thermal metasomatic-filling copper deposit prospecting direction; Xinjiang