

doi:10.12097/j.issn.1671-2552.2023.09.004

新疆希勒库都克铜钼矿床成矿地质特征与找矿 勘查模型

王幻¹, 王书来^{1*}, 黄波², 王泉³, 冉皞³, 张培烈⁴

WANG Huan¹, WANG Shulai^{1*}, HUANG Bo², WANG Quan³, RAN Hao³, ZHANG Peilie⁴

1.北京矿产地质研究院有限责任公司,北京 100012;

2.哈密焱鑫铜业有限公司,新疆哈密 839000;

3.中国地质调查局发展研究中心,北京 100037;

4.中国地质大学(北京)地球科学与资源学院,北京 100083

1. Beijing Institute of Geology for Mineral Resource Co., Ltd., Beijing 100012, China;

2. Hami Yanxin Copper Co., Ltd., Hami 839000, Xinjiang, China;

3. Development and Research Centre, China Geological Survey, Beijing 100037, China;

4. School of Earth Science and Resources, China University of Geosciences(Beijing), Beijing 100083, China

摘要:新疆希勒库都克斑岩型铜钼矿床是近年来在新疆准噶尔盆地东北缘发现的隐伏矿床。为了理清该矿床成矿特征,构建找矿勘查模型,指导区内找矿,针对矿床的地质特征进行系统的研究,结合矿化特征、蚀变特征、地球化学、地球物理和蚀变矿物分布规律等研究,建立了找矿勘查模型。通过野外地质调查、地球化学、地球物理等勘查研究手段发现,该矿床矿化主要赋存于早石炭世花岗斑岩-花岗闪长岩体及接触带围岩中,深部的花岗斑岩提供成矿物质和流体来源;矿区内北北西向、近南北向断裂及岩体侵位导致的裂隙构造是重要的导矿和容矿构造;土壤中的主要成矿元素具有分带性,地球化学异常、矿化蚀变、高精度低磁异常和激电异常可以圈定蚀变矿化体。矿区地表圈定的1~2 km²的椭圆状蚀变异常内发育的褐铁矿化、细脉状硅化、绢云母化、粘土化、绿泥石化、绿帘石化、角岩化等蚀变,是重要的找矿标志。建立的找矿勘查模型对东准噶尔地区斑岩铜钼矿床及中亚造山带斑岩矿床找矿勘查具有借鉴意义。

关键词:斑岩型铜钼矿床;矿床特征;找矿勘查模型;矿产勘查工程;新疆

中图分类号:P618.2 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-2552(2023)09-1467-13

Wang H, Wang S L, Huang B, Wang Q, Ran H, Zhang P L. Metallogenic geological characteristics and exploration model of Xilekuduke Cu-Mo deposit in Xinjiang. *Geological Bulletin of China*, 2023, 42(9): 1467-1479

Abstract: The Xilekuduke porphyry Cu-Mo deposit is a concealed deposit discovered in the northeastern margin of the Junggar Basin, Xinjiang in recent years. In order to clarify the mineralization characteristics of the deposit, construct a prospecting and exploration model, and guide the exploration in the mining area, this paper focuses on a systematic study on the geological characteristics of the deposit. Using the study of mineralization characteristics, alteration characteristics, geochemistry, geophysics, and distribution of altered minerals, a prospecting and exploration model is established. Through field geological surveys, geochemical and geophysical exploration and research methods, the mineralization of this deposit mainly occurs in the Early Carboniferous granite porphyry granite diorite and contact zone surrounding rocks. The deep granite porphyry provides the sources of mineral and fluid. The fracture structures caused by the northwest and nearly north-south faults and rock emplacement in the mining area are important guiding and hosting structures. The

收稿日期:2023-02-27;修订日期:2023-05-16

资助项目:国土资源大调查项目《新疆富蕴县希勒库都克铜钼矿调查评价》(编号:1212011085019)

作者简介:王幻(1994-),女,硕士,工程师,从事矿区地质、勘查选区研究工作。E-mail:13716689747@163.com

*通信作者:王书来(1968-),男,博士,教授级高级工程师,从事成矿预测研究与勘查管理工作。E-mail:wangsl@bigm.cn

main ore-forming elements in soil have zoning characteristics, and geochemical anomalies, mineralization alteration, high-precision low magnetic anomalies, and induced polarization anomalies can delineate altered mineralization bodies. The elliptical alteration of 1~2 km² delineated on the surface of the mining area is often accompanied by alterations such as limonitization, fine-grained silicification, sericitization, clayification, chloritization, epidotization, and hornfelization, which are important prospecting indicators. The established mineral exploration model has reference significance for the exploration of porphyry copper molybdenum deposits in the eastern Junggar and the porphyry deposits in the Central Asian Orogenic Belt (CAOB).

Key words: porphyry Cu-Mo deposit; deposit characteristics; prospecting and exploration model; mineral exploration engineering; Xinjiang

新疆希勒库都克铜钼矿床位于富蕴县以南约40 km,大地构造位置位于准噶尔盆地北缘、哈萨克斯坦-准噶尔板块和西伯利亚板块的结合部位,即萨吾尔晚古生代大洋岛弧带内(董连慧等,2009; Xu et al., 2003; 2013; Yang et al., 2014),其北侧为额尔齐斯缝合带,南侧为乌伦古河大断裂和扎河坝-阿尔曼台蛇绿岩带,矿区北部被沙尔布拉克-阿克塔斯断裂穿过(游军等,2016)(图1-a)。从晚古生代起,研究区准噶尔东北缘构造-岩浆活动频繁,后碰撞伸展和挤压-伸展转变阶段是强烈岩浆活动时期(韩宝福等,2006),也是大规模成矿高峰期,铜钼等成矿地质条件十分优越(杨富全等,2010),形成了包括西准噶尔包古图斑岩型铜钼矿在内的大量斑岩型铜钼矿床(申萍等,2009;杨富全等,2010)。20世纪以来,北京矿产地质研究院持续对该区进行勘查和研究,发现了希勒库都克中-大型铜钼矿床(王书来,2006)。学者们先后进行了矿床基础地质、地球化学、流体包裹体等方面的研究(王京彬等,2008;王玉往等,2008;2010;龙灵利等,2009a;王莉娟等,2009;2010;曹锦元等,2012;郭方晶等,2012;刘猛等,2012)。龙灵利等(2009b;2010;2011;2015)报道了研究区辉钼矿 Re-Os 年龄为327 Ma,含矿花岗岩斑岩及二长花岗岩的锆石 U-Pb 年龄分别为329 Ma和327 Ma,并提出矿床成矿物质主要来自地幔,且含矿岩浆可能经历了地壳深部壳幔物质混合均一化的过程。张华等(2011)根据地球物理方法和地球化学方法,总结出磁异常过渡带内的深部找矿标志主要为低电阻率和高极化率特征,较高的铜钼异常浓集中心值亦可作为找矿标志。有学者建立了晚古生代萨吾尔岛弧成岩、成矿过程及构造演化模式,提出萨吾尔岛弧经历了俯冲期(400~370 Ma)、主碰撞期(360~340 Ma)、碰撞晚期(340~330 Ma)、后碰撞早期(330~320 Ma)及后碰撞伸展阶段(320~280 Ma)5个演化阶段(游军等,2016;卢鹏等,2021;孟贵祥等,2022;

张越等,2022)。

以往的研究主要针对研究区的成矿时代、物质来源、岩石地球化学特征等问题,缺乏对矿床的找矿勘查模型及找矿方向的研究。成矿是不同地质条件耦合的结果,不同的地质综合场(环境)和成矿分离机制产出不同的矿床和矿种类型,针对选择的找矿勘查方法也不同。以矿床学、矿物学和地球化学理论为指导,在对矿床地质、构造、矿化蚀变、化探、物探等资料研究的基础上,通过大比例尺填图,确定成矿地质体、成矿结构面和成矿作用的标志,建立矿床的找矿勘查模型,是对矿床的矿化相关信息及主要找矿标志的综合反映,也是对主要控矿因素、矿化蚀变特点、元素地球化学分布规律和地球物理场特征的客观反映(毛景文,2009;李玉彬等,2012)。本文系统总结研究区矿床地质特征,分析矿化及蚀变特征、地球化学、地球物理及蚀变矿物分布规律,建立找矿勘查模型,研究工作对东准噶尔地区斑岩铜钼矿床及中亚造山带斑岩矿床找矿勘查具有借鉴意义。

1 区域成矿地质背景

希勒库都克铜钼矿区经历了多期次的岩浆-构造演化过程。晚志留世以来,古亚洲洋向南俯冲形成晚古生代弧盆体系(王涛等,2010)。准噶尔东北地区自晚石炭世-二叠纪进入后碰撞构造环境,二叠纪晚期,区域大规模岩浆活动停止(王京彬等,2006)。

区域构造以断裂为主,褶皱次之。地层以晚古生代的火山岩、火山碎屑沉积岩为主,早古生代地层少量分布在扎河坝一带,二叠纪地层主要分布在乌伦古大断裂两侧(图1-b)。区域内侵入岩发育,呈岩基、岩床、岩株或岩脉状产出。早石炭世侵入岩主要分布在额尔齐斯断裂带以南,从基性到酸性侵入岩均有发育,以富钾质为特征,与铜、钼、金等矿化密切相关(秦克章,2000;秦克章等,2002)。

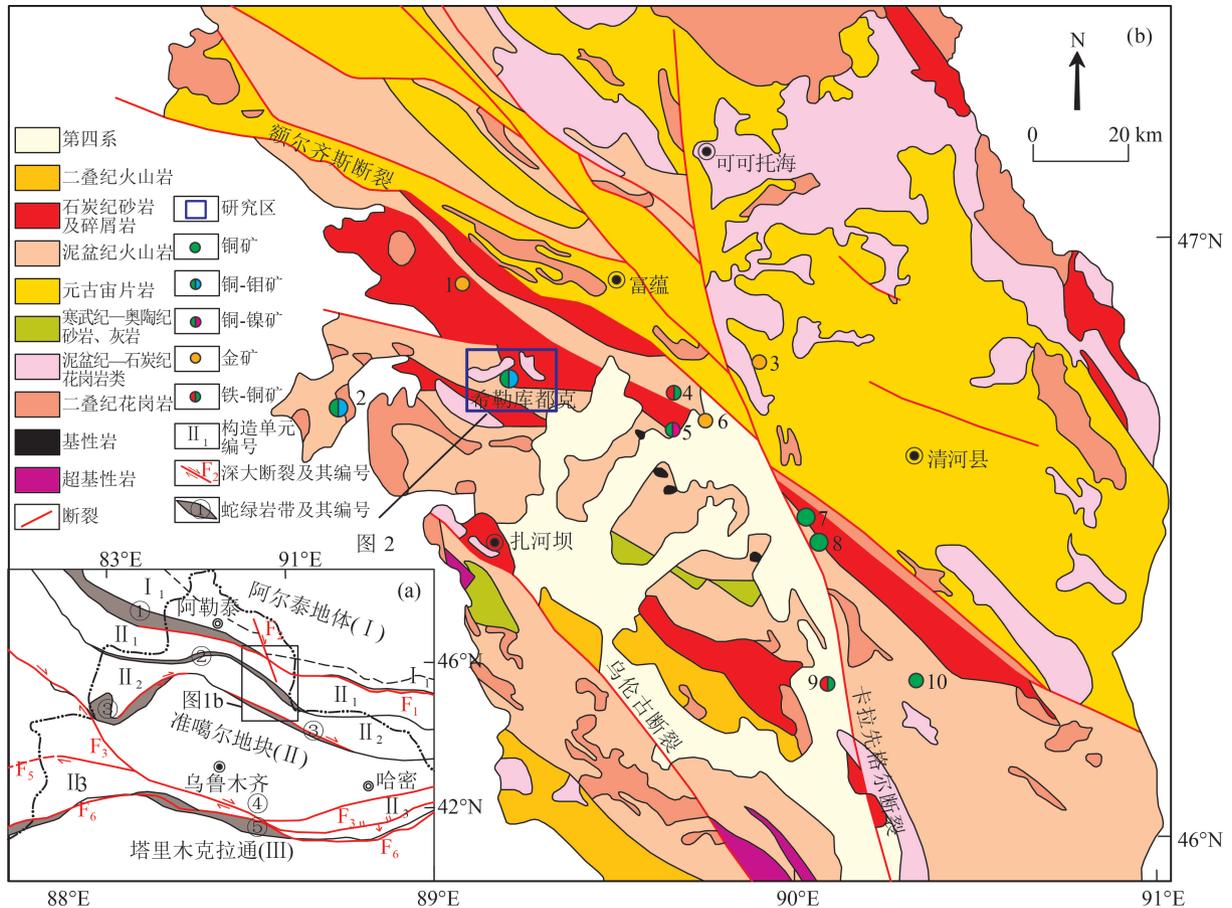


图 1 希勒库都克铜钼矿床大地构造位置(a,据董连慧等,2009 修改)与区域地质图(b)

Fig. 1 Tectonic location(a)and regional geological map(b) of the Xilekuduke Cu-Mo deposit

F₁—额尔齐斯断裂;F₂—二台断裂;F₃—乌奇阿腊耳—精河—阿奇克库都克—沙泉子断裂;F₄—哈中断裂;F₅—卡拉套断裂;F₆—长阿吾子—巴伦台—红柳峡断裂;蛇绿岩带:①乔夏哈拉—布尔根蛇绿岩带;②阿尔曼台—扎河坝—洪古勒楞—塔城蛇绿岩带;③卡拉麦里—达拉布特/克拉玛依—唐巴勒蛇绿岩带;④八音沟蛇绿岩带;⑤冰达坂—干沟—却勒塔格蛇绿岩带;古生代构造单元: I₁—阿尔泰山南缘古生代弧盆体系; II₁—萨吾尔晚古生代大洋岛弧; II₂—谢米斯台—库兰喀孜干—纸房—琼河坝早古生代岛弧; II₃—天山地区古生代复合弧盆系统

2 矿区地质特征

研究区出露的地层包括下石炭统黑山头下亚组(C₁h^a)、下石炭统南明水上亚组(C₁n^b)及第四系(Q)(图 2)。强烈的构造作用使黑山头下亚组(C₁h^a)地层产状改变,与下石炭统南明水上亚组(C₁n^b)呈断层接触,断层接触带岩石片理化发育。南明水上亚组(C₁n^b)是研究区内主要的含矿地层,存在多处矿床(点)及矿化。

研究区内发育大量南北向、近东西向、北西向、北东东向断裂。其中近东西向、北东东向构造大多分布在研究区外围。北西向断裂位于研究区北东及南西一侧,部分被第四系覆盖,钻探

和深部坑道揭露其断裂带岩石破碎。研究区中部以近南北向断裂为主,是主要控矿断裂,主要矿化及石英斑岩脉、次火山岩脉均沿该组断裂分布。

研究区从南到北出露花岗闪长岩、闪长玢岩、石英斑岩、闪长岩和似斑状黑云母二长花岗岩。黑云母二长花岗岩和花岗斑岩整体属于弱过铝质的高钾钙碱性系列(I型),是主要含铜钼矿岩体。深部发育后碰撞二长花岗岩及花岗斑岩,锆石 U-Pb 年龄为 326.4 Ma、328.2 Ma(龙灵利等,2010)。闪长岩和花岗斑岩的微量元素地球化学特征表明,成矿斑岩体是同源岩浆逐渐分异演化的结果(王莉娟等,2010)。

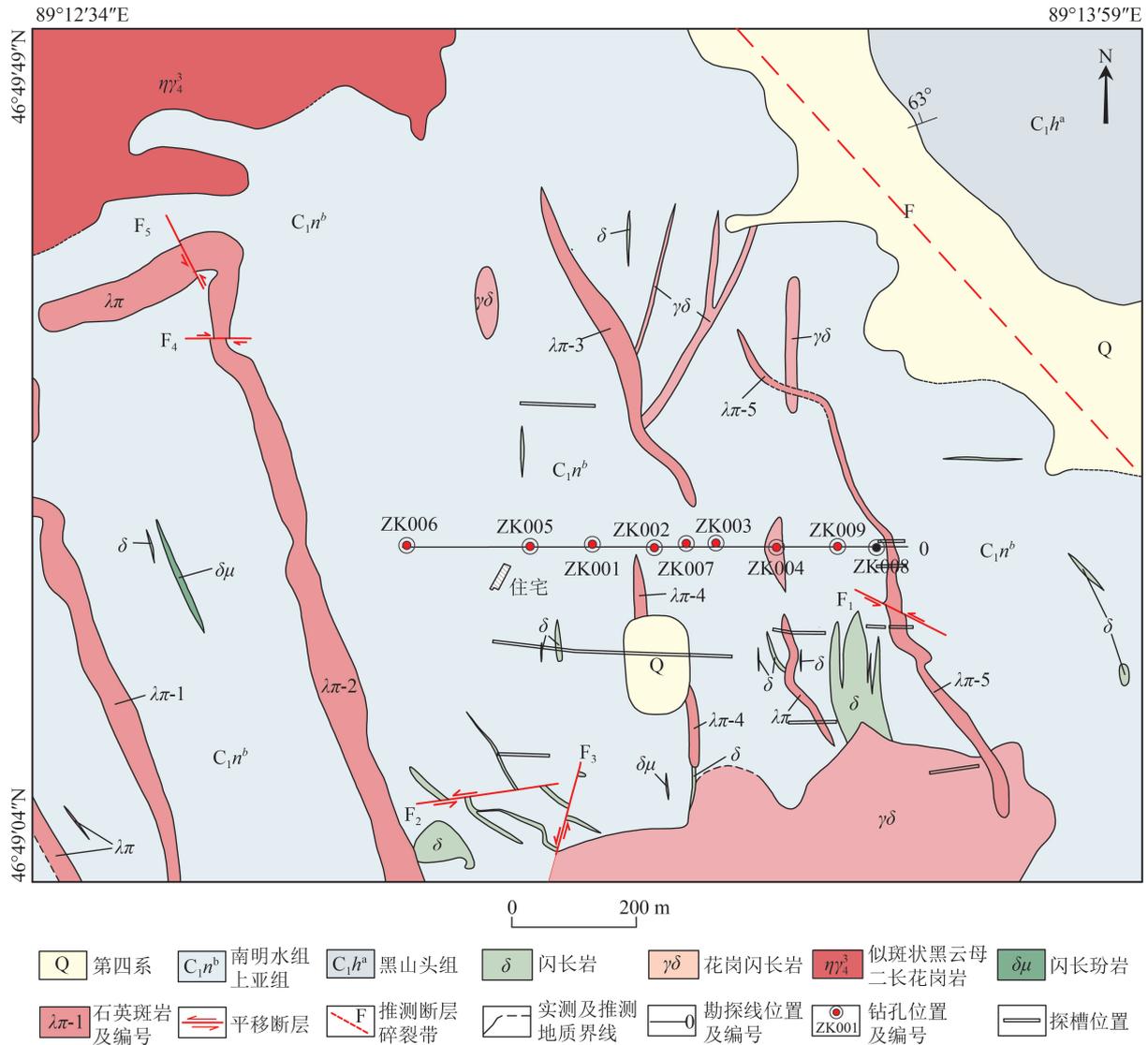


图2 希勒库都克铜钼矿区地质图(据王书来等,2009)

Fig. 2 Geological map of the Xilekuduk Cu-Mo deposit

3 矿床地质特征

铜钼矿体为隐伏矿体,主体分布标高介于400~650 m之间,长100~600 m,宽100~400 m,厚2.66~30.37 m,倾向南西,倾角25°~40°。受北北西—近南北向构造控制,矿体由北向南偏东方向逐渐增厚。主矿体矿化具有上铜下钼的特点,浅部矿体产于斑岩热液蚀变体系通道的上部破碎蚀变带及周围蚀变围岩内,受断裂破碎带+裂隙+斑岩体(脉)共同控制,呈构造大脉状产出,产状较陡,向深部变缓。深部铜钼矿体主要产于花岗斑岩、二长花岗岩体内及接触带处,受含矿岩体接触界面形态和构造

裂隙控制,主要发育浸染状和细脉浸染状矿化,矿体呈层状、似层状或透镜状产出(图3)。

矿石类型以辉钼矿-石英脉状矿石为主,其次为辉钼矿-黄铁矿-石英脉状矿石、黄铜矿-石英脉状矿石、浸染状辉钼矿、破碎(带)状黄铁矿-辉钼矿-金矿石及矽卡岩铜钼矿石。矿石矿物以辉钼矿、黄铁矿、黄铜矿、磁铁矿、自然金等金属矿物为主,矿石结构包括他形粒状结构、自形—半自形粒状结构和交代结构;矿石构造以脉状构造、浸染状构造、细脉浸染状构造、网脉状构造及角砾状构造为主(图4)。

研究区发育钾长石化、硅化、绢云母化、绿帘石

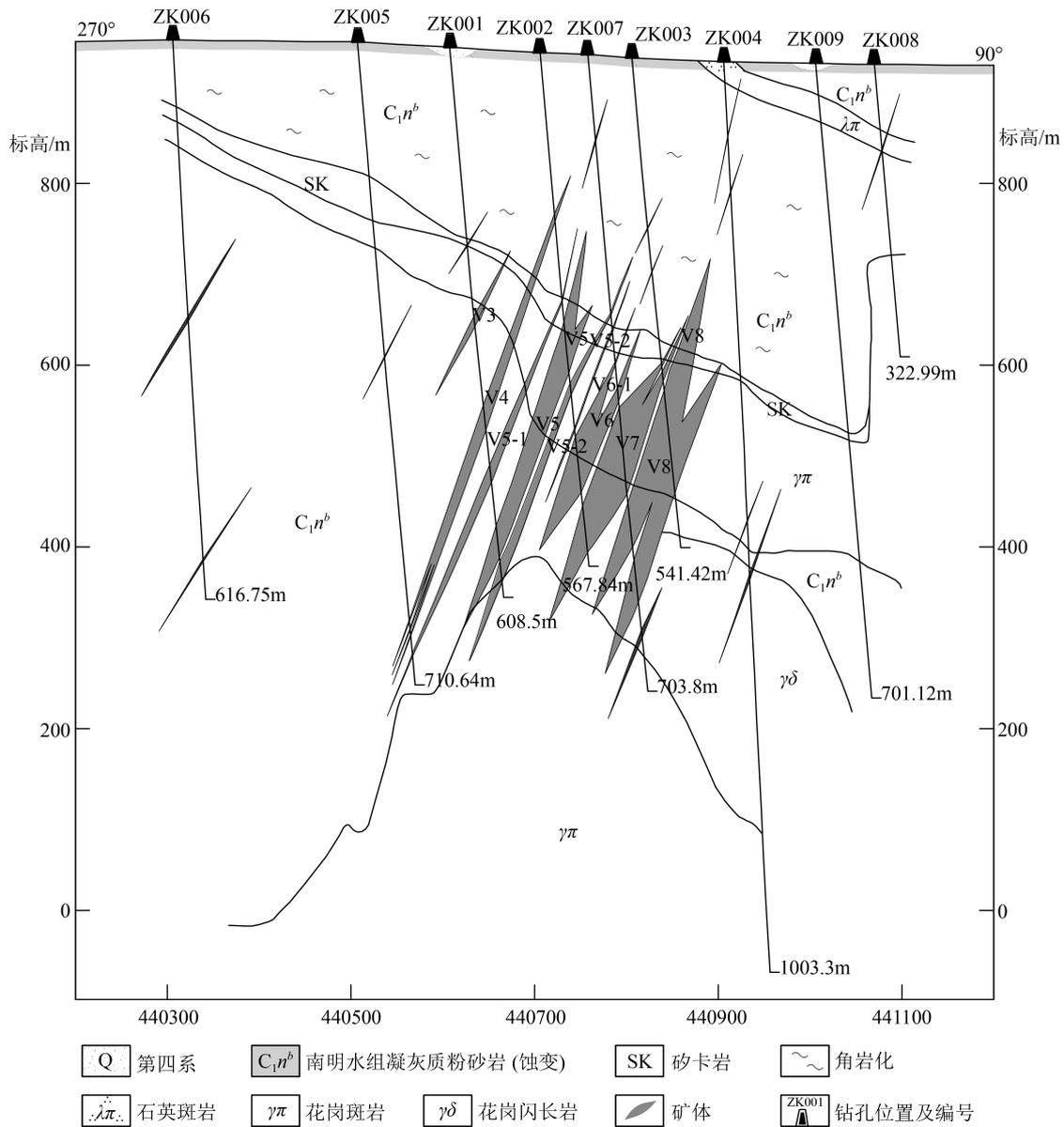


图 3 希勒库都克铜钼矿 0 勘探线地质剖面(据王书来等,2009)

Fig. 3 Geological profile of exploration line 0 of the Xilekuduk Cu-Mo deposit

化、绿泥石化、砂卡岩化、方解石化等蚀变,分带特征明显,钼矿化主要发育在花岗斑岩岩体及接触带蚀变围岩中。铜矿化主要赋存于花岗闪长岩和砂卡岩中。花岗斑岩、二长花岗岩及其附近主要发育绢云母化和与钼铜矿化相关的硅化、钾化,靠近含矿岩体或构造破碎带的围岩发育角岩化,远离含矿岩体发育绿帘石化、绿泥石化和方解石化,与铜矿化相关的砂卡岩化与花岗闪长岩和二长花岗岩伴生。

4 地球化学、地球物理特征及大比例尺蚀变填图

4.1 地球化学特征

4.1.1 1:25 000 岩屑(土壤)地球化学异常特征

研究区准平原残坡积物发育地貌,地形较平坦,水系极不发育,地表多为坡积物,20 cm 以下为残坡积混合物,适合开展岩屑地球化学研究。

本次研究中,土壤地球化学测试在新疆有色测

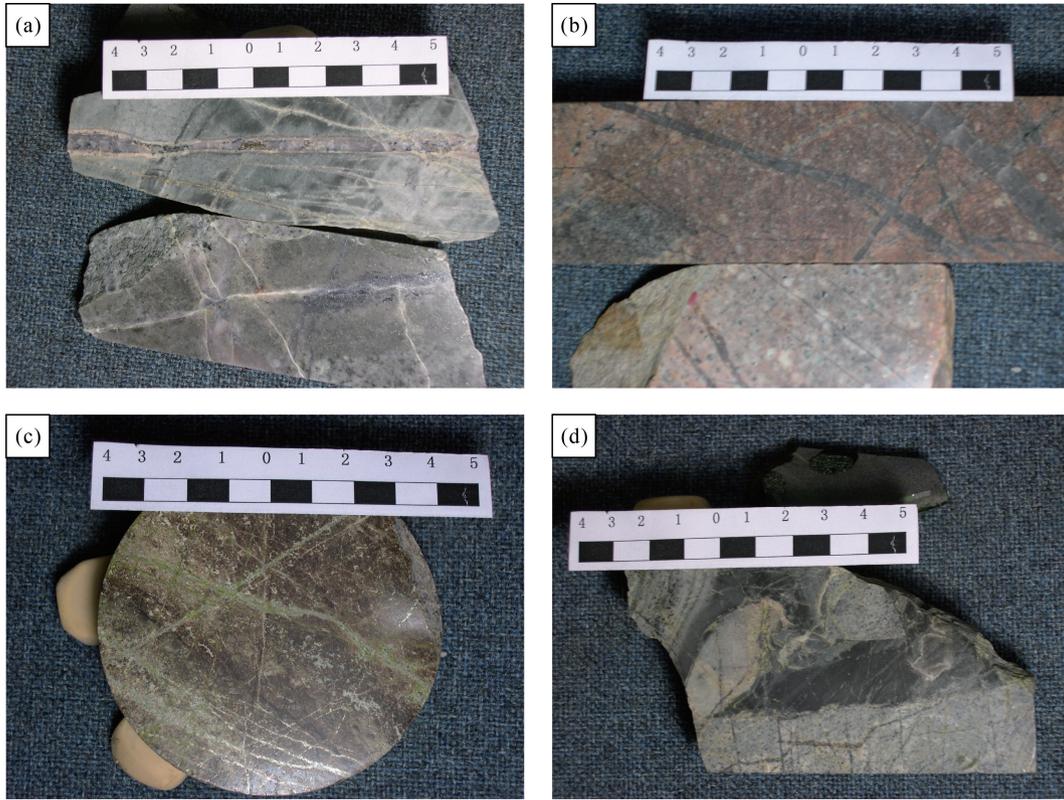


图4 希勒库都克铜钼矿矿化类型与矿石构造图

Fig. 4 Mineralization type and ore texture of the Xilekuduk Cu-Mo deposit

a—网脉状构造—网脉状钼矿化;b—脉状构造—石英—辉钼矿脉状矿化;
c—矽卡岩型铜钼矿化;d—角砾状构造—钼铜角砾状矿化

试中心进行。对研究区土壤地球化学测量数据进行分析,并绘制主成矿元素组合异常图(图5)。Au、Cu、Mo和Bi元素是区内主要的成矿元素,变异系数介于0.56~5.51之间,分异性较强;富集系数介于1.33~2.06之间,元素的富集性较强,表明研究区成矿物质来源丰富。As为研究区主要的伴生指示元素,变异系数为4.51,富集系数为3.44(表1)。通过岩屑地球化学研究,圈定包括希勒库都克矿区XHt-11号综合异常在内的15个综合异常区。XHt-11号综合异常位于研究区中西部,异常评序第一,是区内重要的找矿异常之一,属于甲1类异常。对其综合异常剖析,确定为矿致异常(图5)。异常元素组合为Bi-Au-Cu-As-Mn-Ni-Mo-Zn-Ag。Au、Cu元素极大值分别为 122×10^{-9} 、 587×10^{-6} ,元素面金属量(NAP)值分别为5.31、4.15,浓集中心较显著;As元素极大值为 783×10^{-6} ,面金属量(NAP)值2.91,是成矿指示元素(表2)。综合异常剖析图显

示,主要的成矿和伴生元素异常吻合度较好(图5)。

XHt-11号综合异常总体呈近北西向展布,元素组合特征与斑岩-矽卡岩型铜钼多金属矿床的元素组合相似。Au、Cu、Mo、Bi等主要成矿元素异常明显,具三级浓度分带特点,As元素为主要伴生元素异常发育,靠近轴向浓度分带的前方,具有前缘晕。

4.1.2 1:10 000 原生晕地球化学异常特征

在1:25 000化探综合异常检查的基础上,进一步对XHt-11号综合异常进行1:10 000原生晕地球化学测量,对Cu、Pb、Zn、Mo、Au、As元素进行分析研究,确定成矿元素背景值和异常下限值(表2)。本次研究中,地球化学测试工作由北京矿产地质院承担。主要成矿元素异常特征如下。

Cu元素异常:分布在研究区东南部,整体上呈扁豆状和脉状,长轴沿北北西向展布。异常范围分布于花岗闪长岩和闪长岩及接触带内,由南向北分

3 个异常带,其中 1 号异常带由 3 个异常构成,分布于研究区东南部,呈透镜状、扁豆状,长 1400 m,宽 400 m,异常浓集中心最高值可达 840×10^{-6} 。

Mo 元素异常:规模较大且不规则,呈北北西向分布于研究区中部石英斑岩脉的上、下盘,长轴 1300 m,宽 350~600 m,北部较宽,南部较窄,浓集中心最高值可达 32×10^{-6} 。

Au 元素异常:基本与 Cu 异常吻合,异常较好的地段,呈脉状、透镜状分布在研究区东南部,长轴呈北北西向展布,由南向北分为 4 个异常带,长 1400 m,宽 100~200 m,浓集中心值最高为 38.4×10^{-9} 。

研究区异常分布特征显示:Cu 异常浓集中心主要分布在东南部,Mo 的异常浓集中心主要分布在中部,铜、钼矿化是一个大成矿期不同成矿阶段的产物。

4.2 地球物理特征

4.2.1 研究区岩石、矿石地球物性特征

本次研究中,地球物理探测工作由北京矿产地质研究院承担。研究区新近系呈现低电阻率($353 \Omega \cdot m$)、低极化率(0.77%)特征。似斑状黑云母二长花岗岩

(ηr)的视电阻率介于 $533 \sim 1984 \Omega \cdot m$ 之间,均值约为 $1300 \Omega \cdot m$,极化率介于 2.65%~3.65% 之间,均值约为 3.03%。研究区南西部北北西走向的闪长岩呈现明显的高电阻率(平均 $2715 \Omega \cdot m$)、低极化率(平均 2.52%)特征。石英斑岩的电阻率均值约为 $170 \Omega \cdot m$,视极化率均值约为 1.93%。存在铜金钼化探异常和矿化蚀变的砂岩、粉砂岩,具有低电阻率(平均 $445 \Omega \cdot m$),高极化率(平均 6.51%)特征。

4.2.2 激电异常特征

统计研究区岩石背景视极化率值为 3.33%,计算得到激电异常下限视极化率范围为 4.98%~6.08%。以视极化率 5% 为异常下限,圈定长约 1300 m、宽约 1000 m,北北西走向的驼峰状异常(图 6)。

西部的视极化率异常走向约为 350° ,异常极值高达 8.24%。激电异常长近 1000 m,宽约 650 m,东西两侧较对称,走向上,等值线有北疏南密的特征,表明激电异常体沿走向向北西倾伏,估算走向长度约为 600 m。东部异常范围略小,总体走向为北北西向,局部近南北向,走向长度约为 700 m,宽度约为 350 m,整体沿走向向南东倾伏。平面上,异常分布

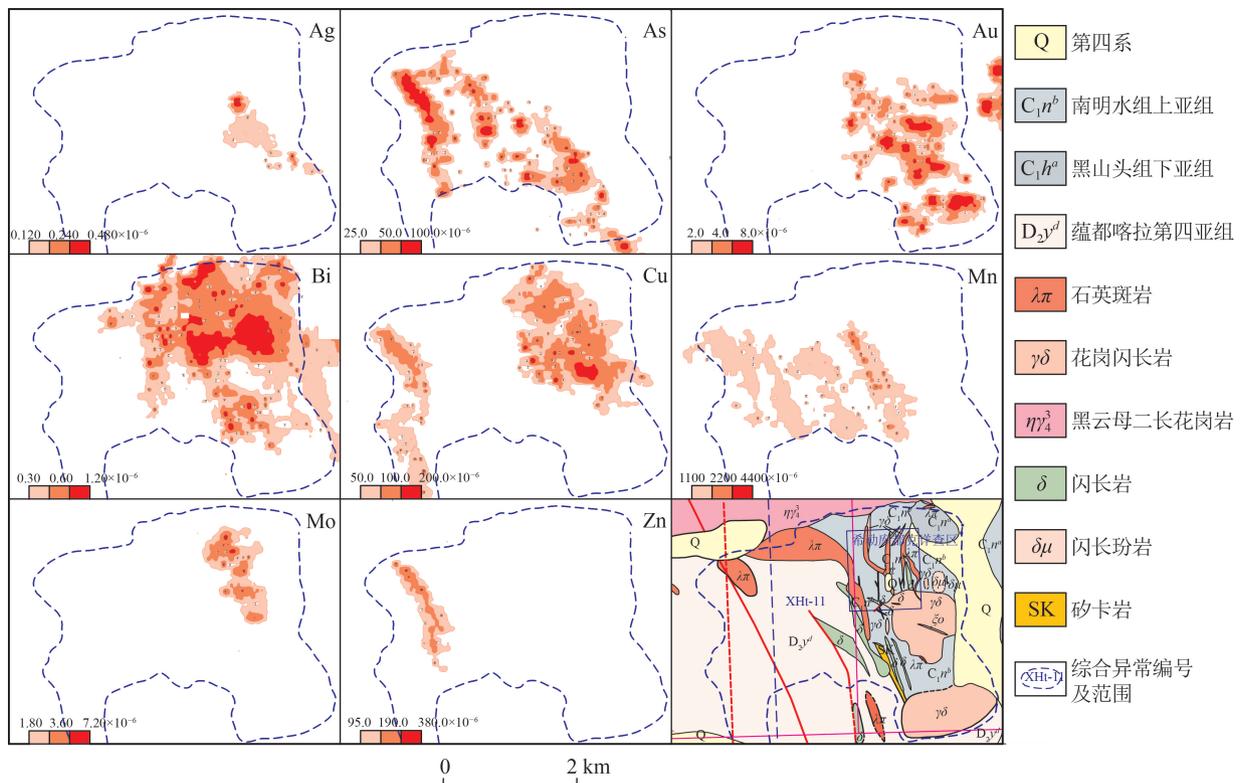


图 5 希勒库都克矿区土壤(岩屑)测量综合异常剖析图(据王书来等,2009)

Fig. 5 Comprehensive anomaly analysis of soil(rock debris)measurement in the Xilekuduk deposit

表1 希勒库都克地区岩屑样品地球化学特征

Table 1 Statistics of geochemical characteristic parameter values of rock debris samples in the Xilekuduk area

元素	最小值	几何平均值	算术平均值	中位数	背景值	最大值	标准离差	异常下限	富集系数	变异系数
Cu	4	31.8	35	32.1	32	970	19.6	50	2.06	0.56
Pb	1.3	13.5	15.2	14.6	14	1170	13	20	0.8	0.85
Zn	14.2	67.7	72.2	69.8	69	2130	33.5	95	1.06	0.46
Mo	0.09	1.02	1.11	0.99	1.04	145	1.03	1.8	1.79	0.93
Ag	0.016	0.067	0.07	0.065	0.067	3.78	0.036	0.12	1.16	0.52
As	1.3	11.1	15.1	11.1	12	13680.4	68.2	25	3.44	4.51
Sb	0.11	0.66	0.73	0.65	0.68	23.9	0.52	1.1	2.16	0.71
Hg	0	1	8	8	6	235	6	20	0.63	0.83
Au	0.2	0.9	1.1	0.8	1	968	6.2	2	1.33	5.51
Bi	0.05	0.22	0.25	0.23	0.23	22.2	0.26	0.3	1.4	1.05
Mn	76	824	859	839	840	7130	270	1100	1.48	0.31
Ni	3.2	21.3	22.8	21.4	21	237	9.9	30	0.91	0.43

注: Au、Hg 元素单位为 10^{-9} , 其余元素均为 10^{-6} , 富集系数 = 元素全区平均值 / 新疆北疆地区丰度值。变异系数 = 标准差 / 算术平均值 * 100%

表2 XHt-11 综合异常元素特征

Table 2 Characteristic values of XHt-11 comprehensive abnormal elements

元素	异常下限	变异系数	异常范围样品数	异常强度	极大值	衬度	异常面积/km ²	异常规模	面金属量 (NAP)	浓度分带	元素背景值	异常下限值
Ag	0.12	0.58	40	0.15	1	1.25	0.30	0.01	0.38	中	*	*
As	25	5.08	850	46.60	783	1.86	1.56	33.70	2.91	内	6.5	25
Au	2	5.61	785	4.32	122	2.16	2.46	5.71	5.31	内	1.9	3
Bi	0.3	1.34	1487	0.59	6	1.97	5.14	1.49	10.11	内	*	*
Cu	50	0.58	577	84	587	1.68	2.47	83.98	4.15	内	30	130
Mn	1100	0.30	619	1296	6430	1.18	2.36	462.56	2.78	外	*	*
Mo	1.8	1.05	197	2.75	11	1.53	0.68	0.65	1.04	中	1.52	5
Zn	95	0.49	91	148.90	352	1.57	0.46	24.79	0.72	中	1.68	100
综合异常面积: 7.63 km ²							面金属量 Σ NAP: 28.60					

注: Hg、Au 元素单位为 10^{-9} , 其他 10^{-6} , * 表示无此项数据

符合 2 个走向近南北向的异常条带水平叠加的特征, 中心位于 940/1200 号点和 1100/1200 号点, 极值分别为 8.77%、7.71%。2 个异常的分布与地表的石英斑岩脉、断裂破碎带一致, 与破碎带内金属硫化物相关。

本区的激电异常均与岩体(岩脉群)及岩体接触破碎带有关, 异常体的平面特征、推断的异常体产状和深部钻探结果显示, 组合异常中心的深部可能存在一个范围较大的岩基, 向浅部呈枝丫状侵入。

4.2.3 1:25 000 高精度磁异常特征

希勒库都克地区的磁场总体具有中—北部高、南部低的特征。磁异常高值区基本同区内的侵入岩体吻合, 少数高磁异常区可能与深部存在的隐伏岩体有关。根据异常形态, 可初步划分 9 个磁异常区, 铜钼研究区磁异常由北部异常(M1)和南部异常(M2)组成, 总体呈中间正、北西和南东负的特征(图 7)。

研究区北部异常(M1)形态比较规整, 呈东西横向拉伸的“枕”状, 走向上延伸近 6000 m, 宽 1000~

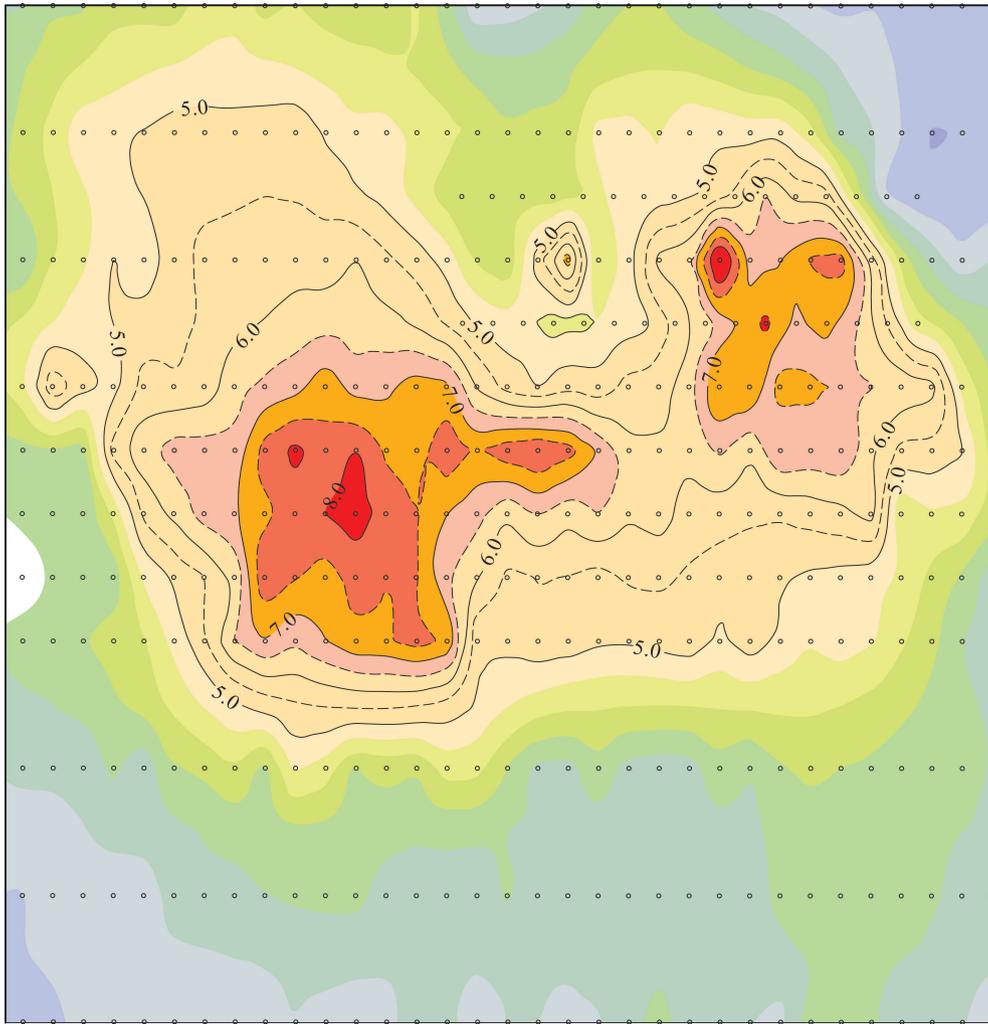


图 6 希勒库都克铜钼矿区激电视极化率异常分布平面图(1:10 000)

Fig. 6 Plan of abnormal IP and apparent polarizability in the Xilekuduk Cu-Mo deposit(1:10 000)

1600 m,异常幅值达 1000 nT,与希勒库都克岩体相关。南部异常(M2)近似等轴状,直径约 800 m,异常幅值达 1000 nT,对应以闪长岩为主的混合岩体。中间梯度带为铜钼矿体产出部位,中间为中低磁区,发育褐铁矿化,局部矿化程度较高,伴有绢英岩化和泥化;周边为高磁环带(图 7)。

4.3 大比例尺蚀变矿物填图

通过斑岩矿床矿化蚀变矿物填图,根据蚀变矿物分布范围、种类和含量等特征,结合地球物理磁异常与蚀变矿物分带,确定矿化蚀变中心区域,为后续深部工程验证提供依据。

野外地质调查显示,斑岩成矿的蚀变矿物具有显著的分带性,从褐铁矿化、硅化及绢英岩化向外过渡到泥化、高岭土化,再到方解石化、青磐岩化,

并普遍发育角岩化。研究区南东部青磐岩化更发育,中部偏北西侧则以褐铁矿化和硅化为主(图 8)。此外,主异常外围的东部存在少量硅化和褐铁矿化,西侧有少量褐铁矿化。

5 找矿标志与找矿勘查模型

5.1 找矿标志

通过对基础地质条件、控矿构造、蚀变矿物和物化探异常的研究,总结本区斑岩型铜(金)矿主要找矿标志如下。

(1)含矿岩体产出于准噶尔东北缘古生代活动陆缘后碰撞阶段(早石炭世),岩性以富钾质的花岗斑岩、花岗闪长(斑)岩及二长花岗岩为主,呈小岩株、岩脉产出。

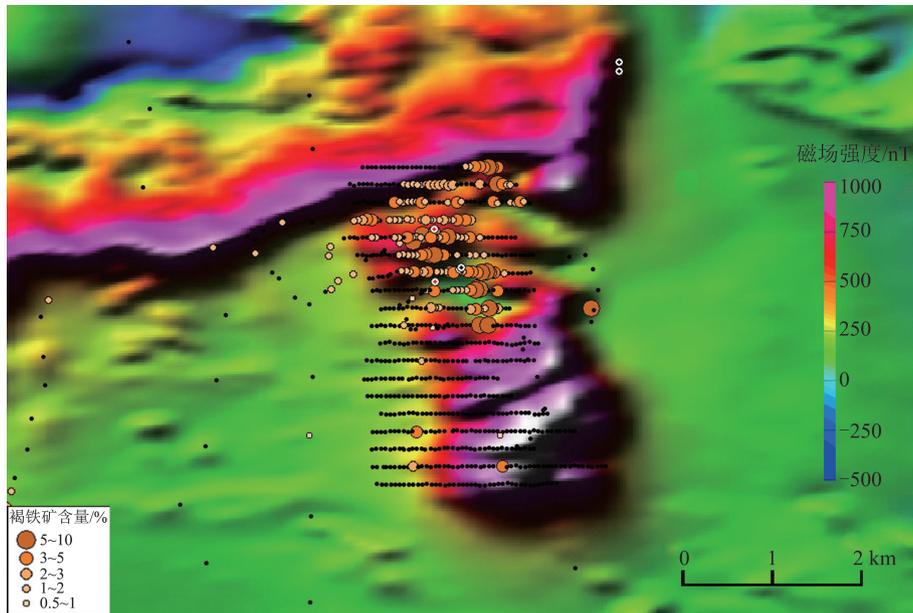


图7 希勒库都克矿区高精度磁测异常分布与褐铁矿化分布叠加图

Fig. 7 Superposition diagram of high-precision magnetic survey anomaly distribution and limonitization distribution in Xilekuduk deposit

(2) 断裂和环形构造交切并伴有中酸性岩体(岩脉)侵入的位置可作为找矿重点。

(3) 蚀变矿物填图表明,地表 $1\sim 2\text{ km}^2$ 椭圆状范围内,岩石发育较大范围的褐铁矿化、硅化-绢云母化、粘土化-绿泥石化和绿帘石化,围岩发育角岩化。

(4) 垂向上,斑岩体及上部围岩接触带,从内向外发育钾化带-(黄铁)绢英岩化带-青磐岩化带,属典型的斑岩型矿床蚀变分带。早期的(细脉)浸染状矿化发育于含黄铁矿的绢英岩化带,晚期的脉状矿化发育于青磐岩化带和部分角岩化带内。

(5) 地球物理研究表明,矿化区具有中间中低磁、周边为高磁环带的特征,含矿斑岩蚀变区具有低视电阻率、高视极化率特征。

(6) 地球化学研究表明,矿体产于Cu、Mo、Au的高背景异常区,与高强度浓集中心明显的Cu、Au、Mo元素异常相对应,在空间上与Cu、Mo异常高度重合;整体与物探低电阻、高极化异常吻合。

5.2 找矿勘查模型

在综合研究矿床基本地质特征的基础上,分析成矿岩体性质和综合物化探异常,基于有利的成矿

地质条件、良好的物化探异常信息和明显的矿化蚀变矿物信息等找矿标志,建立希勒库都克斑岩型铜钼矿综合找矿勘查模型(图9)。

矿体主要产于花岗闪长岩和花岗斑岩接触带,以及附近破碎的南明水组蚀变凝灰质砂岩、粉砂岩中。岩体从内向外发育钾化-绢英岩化、褐铁矿化-绿帘石、绿泥石化蚀变分带。蚀变斑岩体内外接触带发育浸染状、网脉状矿化,矿体厚大,矿石品位高;外侧矿体变薄,蚀变凝灰质砂岩和粉砂岩中发育脉状、细脉(浸染)状矿化,矿石品位低;裂隙发育部位矿石品位高。浅部矿体受构造破碎带控制呈脉状产出,深部矿体受岩体接触界面形态影响。

主要成矿元素Cu-Mo-Au异常和地球物理测量异常吻合较好,Cu-Mo-Au异常东西范围超过600 m,而物探视激化率异常东西宽超过1000 m,对应于低视电阻率异常范围,呈现2个高视激化率异常中心(图6)。剖面上地球物理异常范围大于主要成矿元素Cu-Mo-Au异常范围,表明成矿斑岩体系深部向东西两侧延伸。

6 结论

通过对希勒库都克斑岩矿床进行矿床地质、地

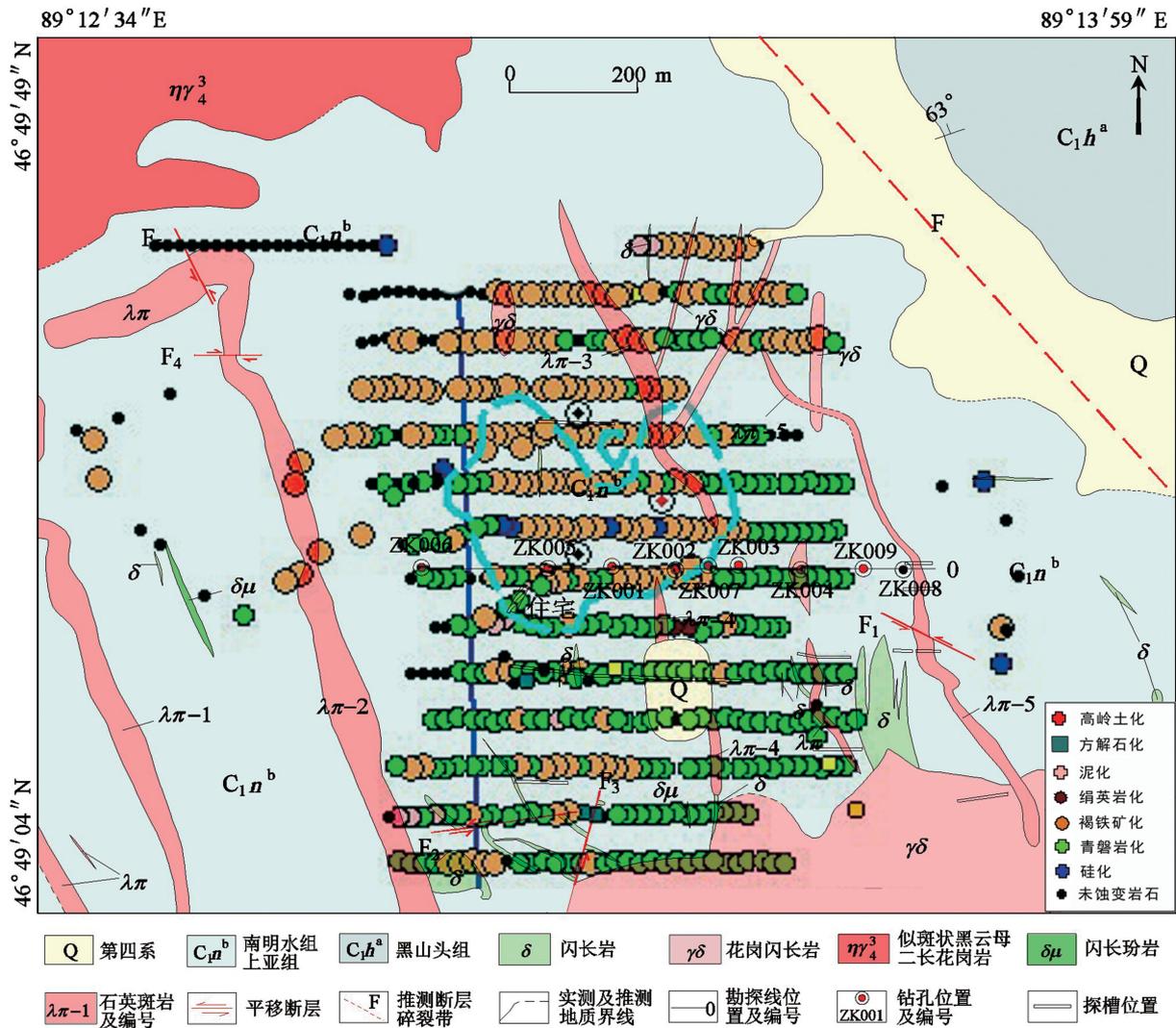


图 8 希勒库都克矿区蚀变矿物分布频率图

Fig. 8 Distribution frequency of altered minerals in the Xilekuduk deposit

球物理、地球化学和蚀变矿物特征研究,建立找矿勘查模型。

(1) 矿化主要赋存于花岗斑岩-花岗闪长岩内及接触带围岩中,成矿作用与早石炭世花岗斑岩、花岗闪长岩及二长花岗岩相关。深部的花岗斑岩体提供流体和成矿物质,研究区北北西向、近南北向断裂及岩体侵位引起的裂隙是重要的导矿和容矿构造。

(2) 高精度磁测及激电测量结果能很好地反映蚀变岩体、接触带及矿化体的位置和范围。

(3) 地球化学和地球物理研究显示,成矿元素具有分带性,异常范围和矿化蚀变强度能很好地反

映矿化体的范围。

(4) 地表 1~2 km² 的椭圆状大范围的褐铁矿化、硅化、绢云母化、粘土化、绿泥石化、绿帘石化、角岩化等蚀变是重要的找矿标志。

参考文献

Xu X W, Jiang N, Li X H, et al. Tectonic evolution of the East Junggar terrane: evidence from the Taheir tectonic window, Xinjiang, China[J]. Gondwana Research, 2013, 24(2): 578-600.

Xu X W, Ma T L, Sun L Q, et al. Characteristics and dynamic origin of the large-scale Jiaoluotage ductile compressional zone in the eastern Tianshan Mountains, China[J]. Journal of Structure Geology, 2003, 25 (11): 1901-1915.

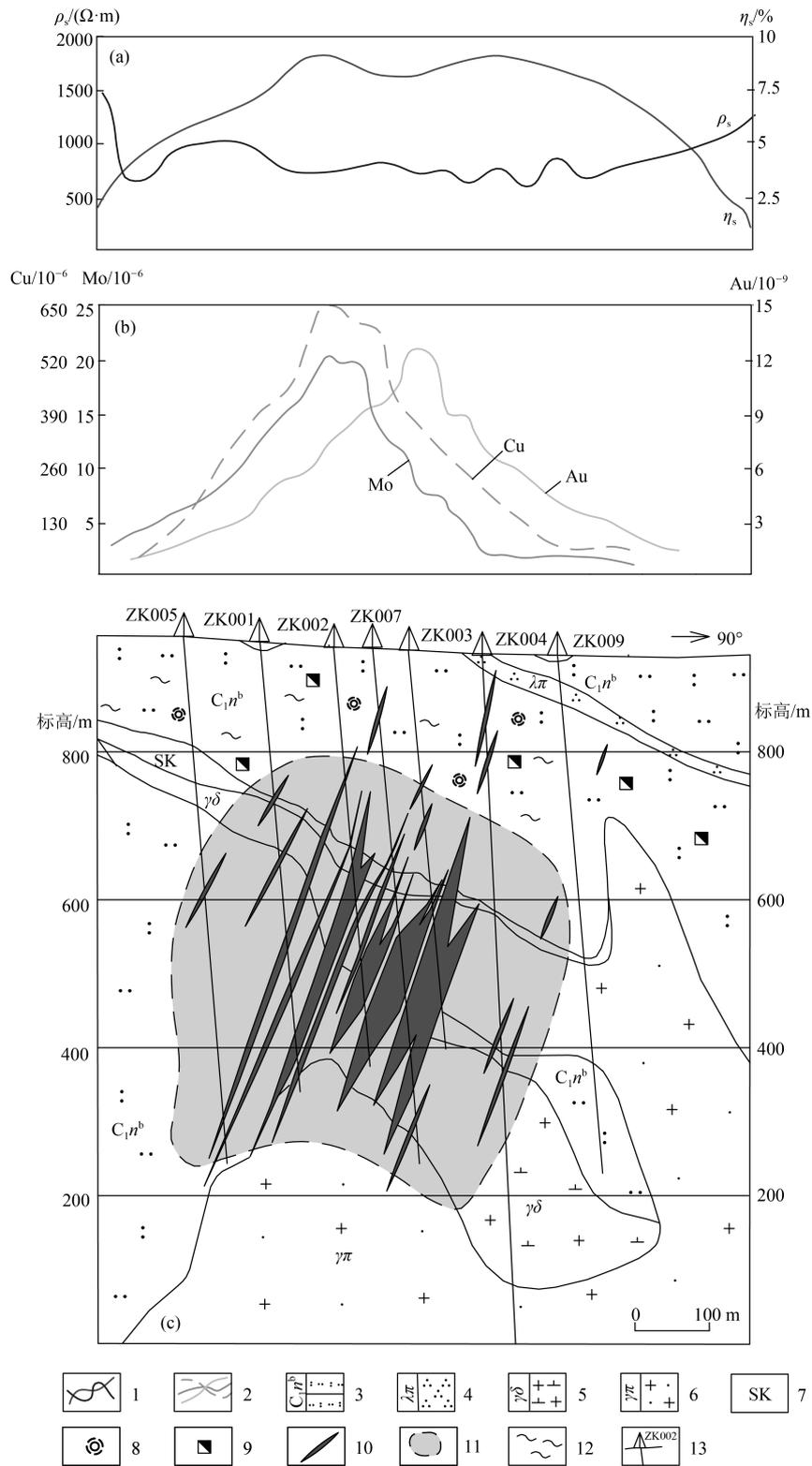


图9 希勒库都克铜钼矿综合找矿勘查模型图

Fig. 9 Comprehensive prospecting and exploration model of the Xilekuduk Cu-Mo deposit

a—0 勘探线物探视极化率及视电阻率曲线; b—0 勘探线化探铜钼金异常曲线; c—0 勘探线地质剖面; 1—视极化率、视电阻率曲线;
 2—地球化学异常曲线; 3—南明水组凝灰质粉砂岩(蚀变); 4—石英斑岩; 5—花岗闪长岩; 6—花岗斑岩; 7—砂卡岩; 8—硅化;
 9—褐铁矿化; 10—矿体; 11—矿化(低品位矿); 12—角岩化; 13—钻孔位置及编号

- Yang F Q, Chai F M, Zhang Z X, et al. Zircon U-Pb geochronology, geochemistry, and Sr-Nd-Hf isotopes of granitoids in the Yulekenhalasu copper ore district, northern Junggar, China: petrogenesis and tectonic implications[J]. *Lithos*, 2014, 190/191(3): 85-103.
- 曹锦元, 李春霞, 游军, 等. 新疆富蕴县希勒库都克铜钼矿床地球化学特征[J]. *物探与化探*, 2012, 36(3): 344-349.
- 董连慧, 徐兴旺, 屈迅, 等. 初论环准噶尔斑岩铜矿带的地质构造背景与形成机制[J]. *岩石学报*, 2009, 25(4): 713-737.
- 郭方晶, 丁汝福, 游军, 等. 希勒库都克铜钼矿床地球化学特征及成因[J]. *新疆地质*, 2012, 30(1): 40-45.
- 韩宝福, 李建清, 宋彪, 等. 新疆准噶尔晚古生代陆壳垂向生长(I)——后碰撞深成岩浆活动的时限[J]. *岩石学报*, 2006, 22(5): 1077-1086.
- 李玉彬, 多吉, 钟婉婷, 等. 西藏改则县多不杂斑岩型铜金矿床勘查模型[J]. *地质与勘探*, 2012, 48(2): 274-287.
- 刘猛, 游军, 丁汝福. 希勒库都克铜钼矿区地球物理、地球化学异常特征与找矿模式[J]. *新疆地质*, 2012, 30(1): 46-51.
- 龙灵利, 王京彬, 王玉往, 等. 新疆富蕴地区希勒库都克铜钼矿床含矿斑岩的年代学与地球化学特征[J]. *地质通报*, 2009a, 28(12): 1840-1851.
- 龙灵利, 王京彬, 王玉往, 等. 新疆希勒库都克铜钼矿床含矿斑岩年代学与地球化学特征[J]. *地质通报*, 2009b, 18(12): 595-597.
- 龙灵利, 王玉往, 王京彬, 等. 新疆希勒库都克铜钼矿区岩浆混合作用: 来自锆石 U-Pb 年代学的证据[J]. *岩石学报*, 2010, 26(2): 449-456.
- 龙灵利, 王玉往, 杜安道, 等. 新疆希勒库都克铜钼矿床辉钼矿 Re-Os 年龄及其地质意义[J]. *矿床地质*, 2011, 30(4): 635-644.
- 龙灵利, 王京彬, 王玉往, 等. 新疆希勒库都克铜钼矿床硫同位素特征及成矿物质来源探讨[J]. *岩石学报*, 2015, 31(2): 545-554.
- 卢鹏, 童英, 孟秋熠, 等. 东准噶尔北缘乌伦古地区晚二叠世 A 型花岗岩墙成因及构造背景[J]. *地质通报*, 2021, 40(1): 58-70.
- 毛景文, 邵拥军, 谢桂青, 等. 长江中下游成矿带铜陵矿集区铜多金属矿床模型[J]. *矿床地质*, 2009, 28(2): 109-119.
- 孟贵祥, 邓震, 祁光, 等. 新疆东准噶尔成矿带浅覆盖区地质填图效果——以杜热一带浅覆盖区基岩地质填图为例[J]. *地质通报*, 2022, 41(2/3): 374-387.
- 秦克章, 方同辉, 王书来, 等. 东天山板块构造分区、演化与成矿地质背景研究[J]. *新疆地质*, 2002, 20(4): 302-308.
- 秦克章. 新疆北部中亚型造山与成矿作用[R]. 北京: 中国科学院地质与地球物理研究所博士后出站报告, 2000: 1-194.
- 申萍, 沈远超, 刘铁兵, 等. 新疆包古图斑岩型铜钼矿床容矿岩石及蚀变特征[J]. *岩石学报*, 2009, 25(4): 777-792.
- 王京彬, 徐新. 新疆北部后碰撞构造演化与成矿[J]. *地质学报*, 2006, 80(1): 23-31.
- 王京彬, 王玉往, 周涛发. 新疆北部后碰撞与幔源岩浆有关的成矿谱系[J]. *岩石学报*, 2008, 24(4): 743-752.
- 王莉娟, 王京彬, 王玉往, 等. 新疆北部希勒库都克斑岩铜钼矿床赋矿岩石及成矿流体[J]. *新疆地质*, 2010, 28(4): 393-401.
- 王莉娟, 王京彬, 王玉往, 等. 准噶尔北部希勒库都克斑岩铜钼矿床地质与成矿流体[J]. *岩石学报*, 2009, 25(4): 944-954.
- 王书来. 新疆富蕴县希勒库都克地区铜钼金矿预查报告[R]. 有色金属矿产地质调查中心, 2006.
- 王书来, 等. 新疆富蕴县希勒库都克地区铜钼金矿详查报告[R]. 北京: 矿产地质研究院, 2009.
- 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[C]//全国岩石学与地球动力学研讨会, 2010: 595-618.
- 王玉往, 王京彬, 王书来, 等. 新疆富蕴希力库都克地区岩浆混合作用及其成矿意义[J]. *地质学报*, 2008, 82(2): 221-233.
- 王玉往, 王京彬, 王书来, 等. 新疆希勒库都克铜钼矿床地质特征和成因探讨[J]. *新疆地质*, 2010, 28(4): 370-376.
- 杨富全, 闫升好, 刘国仁, 等. 新疆准噶尔斑岩铜矿地质特征及成矿作用[J]. *矿床地质*, 2010, 29(6): 956-971.
- 游军, 洪涛, 吴楚, 等. 新疆富蕴县希勒库都克铜钼矿区岩浆活动特征及其对区域晚—后碰撞构造演化的制约[J]. *岩石学报*, 2016, 32(5): 1262-1282.
- 张华, 丁汝福, 王书来, 等. 新疆富蕴县希勒库都克铜钼矿床地质特征[J]. *科学技术与工程*, 2011, 11(4): 705-709.
- 张越, 陈隽璐, 孙吉明, 等. 新疆东准噶尔阿尔曼太蛇绿岩中玄武岩地球化学特征及其地质意义[J]. *地质通报*, 2019, 38(9): 1431-1442.